

Les effets biomécaniques de la marche nordique : revue systématique

Mémoire d'initiation à la recherche

Mémoire réalisé dans le cadre de l'UE 28

ROY Manon
Promotion 2016-2020

Directeur de mémoire : M. SAGAWA Jr Y.

Remerciements

Tout d'abord un grand merci à mon directeur de mémoire M. Yoshimasa SAGAWA, de sans qui ce travail n'aurait jamais abouti. Merci de m'avoir accompagnée et aidée jusqu'au bout et de m'avoir fait découvrir cet aspect différent mais tout aussi complémentaire de la kiné : la recherche.

Je remercie toute l'équipe pédagogique de l'UFMK de BESANCON et son directeur M. Christophe DINET pour leur disponibilité et la qualité de la formation dispensée.

Table des matières

Glossaire	
1. Introduction générale	1
2. Introduction	2
3. Méthode	3
3.1. Recherche d'articles.....	3
3.2. Identification	3
3.3. Critères d'éligibilité	3
3.4. Index de qualité méthodologique	4
3.5. Caractéristiques des études retenues	4
4. Résultats	5
4.1. Sélection des articles	5
4.2. Caractéristiques des études.....	6
4.3. Protocole	7
4.4. Résultats	7
4.4.1. Vitesse et distance de marche.....	8
4.4.2. Activation et force musculaire	10
4.4.3. Analyse spatio-temporelle	12
4.4.4. Cinématique.....	14
4.4.5. Force de réaction au sol et pression plantaire	15
5. Discussion.....	16
5.1. Vitesse et distance de marche	17
5.2. Activation et force musculaire	17
5.3. Analyse spatio-temporelle	18
5.4. Cinématique	18
5.5. Force de réaction au sol.....	18
5.6. Limites.....	19
6. Conclusion	20
Bibliographie.....	
Tableaux des figures	
Annexes	

Glossaire

MN : marche nordique

MSB : marche sans bâton

1. Introduction générale

Parmi les différents types de mémoire proposés, j'ai choisi « l'initiation à la recherche ». Ce projet a été proposé et réalisé en collaboration avec le Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle Clinique du Mouvement sous la responsabilité de M. Sagawa (kinésithérapeute et ingénieur de recherche). Le but premier de ce travail était de réaliser des expérimentations afin de mieux comprendre la biomécanique de la marche nordique (MN) ; nous souhaitions comparer la cinématique du mouvement de dissociation des ceintures entre la marche sans bâton (MSB) et la MN.

Mais, lors de la phase de recherche préliminaire nous nous sommes rendu compte qu'il n'y avait que peu de bibliographie sur le sujet. D'autres critères biomécaniques et cinématiques avaient déjà été évalués mais aucun article n'abordait la dissociation des ceintures. La décision de réaliser une revue systématique sur ce sujet et plus largement sur les effets biomécaniques de la MN semblait donc pertinente.

La MN n'est pas une technique propre à la kinésithérapie, mais elle fait partie de l'arsenal thérapeutique en tant qu'activité physique globale. En effet, la prise en charge rééducative du patient doit être constituée d'activités supervisées (p.ex., consultation en cabinet) et aussi non supervisées (afin d'encourager l'autonomie du patient dans sa prise en charge). Cette activité est couramment utilisée, notamment en centre de rééducation fonctionnelle pour diverses pathologies, ou bien prescrite en tant qu'activité non supervisée.

La dissociation des ceintures est présente lors de la marche saine et contribue au maintien de l'équilibre (1). Puisque la MN sollicite à la fois les membres supérieurs et inférieurs, nous pensions trouver des résultats allant dans le sens d'une augmentation de ce phénomène.

L'objectif de cette démarche était de savoir : est-ce que la MN influe sur la dissociation des ceintures et aussi d'une manière plus générale sur la biomécanique de la marche ? Pour vérifier cette hypothèse, et dans un but d'exhaustivité de recherche sur ce sujet, nous avons décidé que je réaliserais une revue systématique de la littérature existante sur la MN en recherchant des études analysant cette technique avec des critères biomécaniques globaux (p.ex., la vitesse de marche ou la distance) mais aussi spécifiques (p.ex., la cinématique, l'activité musculaire ou la force de réaction au sol).

Pour finir, ce mémoire a été réalisé sous forme d'article pour s'adapter aux contraintes de la revue choisie en vue de la publication (Physical Therapy (2)).

2. Introduction

La marche joue un rôle important dans la vie quotidienne d'une personne, elle combine des activités automatiques et volontaires. Elle implique différents systèmes tels que : le système nerveux, le système articulaire et le système musculaire. La marche est une succession d'appuis unipodaux et bipodaux avec un croisement entre les ceintures scapulaire et pelvienne qui participe au maintien de l'équilibre (1). Le mouvement coordonné entre les membres inférieurs et les membres supérieurs est, en partie, dirigé par les réseaux locomoteurs spinaux localisés dans la moelle épinière (3). Ce sont des assemblages d'interneurones qui génèrent des informations indépendamment du cerveau et qui permettent une synergie musculaire, qui va aboutir à un cycle moteur pour permettre la marche. Toutefois, certaines maladies du système nerveux central (tels que la maladie de Parkinson, les syndromes parkinsoniens, les accidents vasculaires cérébraux) ou les accidents (tels que les blessures médullaires, les traumatismes crâniens) peuvent se manifester par des problèmes lors de la marche ou des problèmes de coordination entre les membres (4).

La MN est apparue comme le nouveau sport à la mode ces dernières années. Ce sport a été développé par des skieurs Finlandais qui souhaitaient préserver leur condition physique pendant la saison estivale (5). Ce type de marche est maintenant utilisée par un large public de professionnels et d'amateurs. En plus de sa facilité d'apprentissage (6), de récentes études sur des adultes sains ont montré les bénéfices de la MN dans différents domaines : la marche (7), le système cardio-vasculaire (8), le métabolisme (9), le bien-être psychologique (10), l'activation globale de la musculature du tronc et des membres (11,12) et la douleur (13,14). Mais la MN n'est pas seulement utilisée avec des personnes en bonne santé ; elle est aussi couramment utilisée avec les personnes âgées comme activité aérobie pour prévenir les complications de la sédentarité (15). Elle est aussi utilisée dans différents programmes de rééducation pour les patients atteints de Parkinson (16), d'arthrose (17,18) ou encore de maladie cardio-vasculaire (8). Aucune étude ne met en avant de risque majeur à la pratique de la MN.

En regardant les précédentes revues de la littérature (Tschentscher et al. 2013 (19)), la MN est décrite avec une approche générale : capacité d'exercice, distance de marche ou dépense énergétique. Mais d'autres paramètres biomécaniques plus spécifiques (non évalués dans la revue) comme : la cinématique des membres, l'électromyographie ou les forces de réaction au sol pourraient apporter une valorisation de la MN dans le domaine de la rééducation.

Par conséquent, le but de cette revue systématique est de déterminer quel est l'impact de la MN sur les paramètres biomécaniques suivants : vitesse et distance de marche, activation musculaire, paramètres spatio-temporaux, cinématique et force de réaction au sol ? Cette revue prend en compte à la fois des populations saines et des populations malades.

3. Méthode

Pour la réalisation de cette revue, la méthode PRISMA¹ (*Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analysis*) a été utilisée pour conduire la recherche bibliographique et son analyse (Annexe I) (20).

3.1. Recherche d'articles

La recherche d'études pertinentes a été réalisée dans les bases de données suivantes et leurs interfaces respectives : Medline (Pubmed), Cochrane (Cochrane library) et PEDro, d'octobre 2008 jusqu'à octobre 2018 (c.-à-d. les dix dernières années). Pour identifier les articles pertinents, les mots-clefs et opérateurs suivants ont été utilisés : « *nordic walking* » OR « *pole walking* » OR « *walking poles* » OR « *nordic pole walking* » OR « *hiking poles* » OR « *nordic pole* » AND « *gait* » OR « *walking* » OR « *functional performance* » OR « *pattern* » OR « *motion capture* » OR « *kinematic* » OR « *kinetic* » OR « *dynamic analysis* » OR « *muscle activation* » OR « *muscle synergies* » OR « *performance analysis* » OR « *posture* » OR « *trunk* ».

La recherche a été conduite avec des termes MeSH (Medical Subject Heading) mais aussi avec des termes autres que MeSH (en *italique*) car beaucoup d'appellations attendant à la MN ne sont pas présentes dans la liste MeSH.

3.2. Identification

Pour optimiser la recherche, tous les articles avec au moins un mot se référant à la MN dans leurs titres ont été inclus dans cette phase. Les articles en double ont été exclus des différentes bases de données.

3.3. Critères d'éligibilité

Basés sur les titres et les abstracts, les critères d'éligibilité de cette phase étaient : étude qui aborde au moins une variable biomécanique analysant la MN (par exemple : paramètres spatiotemporels, cinématique) ; et les articles comparant la MN avec d'autres techniques et d'autres groupes (par exemple : marche sans bâton (MSB), autres formes d'exercices physiques, comparaison inter- et intra-individuelle). Les critères d'exclusion étaient : les études non trouvées en anglais, les études n'incluant pas d'analyse statistique comparative (ou une analyse mal menée), les commentaires d'articles, les revues systématiques, les recommandations, les résumés de congrès, les éditoriaux, les lettres, les livres, et les commentaires/notes d'auteurs.

¹ Les numéros de page notés sur la grille PRISMA en annexe correspondent aux numéros de page de l'article.

Après cela, les critères mentionnés ci-dessus ont été appliqués à la lecture des textes entiers. Puis, après avoir lu chaque article inclus dans cette phase, les références de chaque article ont été vérifiées afin d'assurer une recherche approfondie.

3.4. Index de qualité méthodologique

Pour assurer la qualité méthodologique de ces études, je les ai notées grâce à l'échelle PEDro (21) qui est une échelle composée de onze items. Si le score Pedro existait déjà dans la base de données, il a aussi été reporté. Cette échelle est utilisée pour évaluer la validité externe (critère 1), la validité interne (critère 2 à 9) et l'interprétabilité des résultats (critère 10 à 11) des études cliniques ou des études comparatives (22). En appliquant le guide de recommandation de cette échelle, seuls les critères 2 à 11 sont comptabilisés pour le score final.

3.5. Caractéristiques des études retenues

Les données suivantes ont été collectées pour chaque étude incluse : type d'étude, caractéristiques des participants (nombre, genre, âge), les critères d'inclusion/de non-inclusion des participants, les protocoles d'études (tâche, session (nombre et durée), fréquence, intensité), les modalités d'évaluation, les critères d'évaluation et le score PEDro. Dans cette revue j'ai considéré les scores PEDro que j'ai calculé. Pour finir, la valeur moyenne (écart-type) de toutes les valeurs, la valeur de p , et enfin les changements ont été exprimés en pourcentage pour les comparaisons inter-groupes et/ou pré/post-programme.

4. Résultats

4.1. Sélection des articles

La Figure 1 montre le processus suivi pour sélectionner les articles de cette revue. Avec l'équation de recherche utilisée et les 3 bases de données sélectionnées, 422 articles ont été trouvés. Au final, 42 études (6,7,11–15,17,23–56) correspondant aux critères d'inclusion ont été incluses dans la revue.

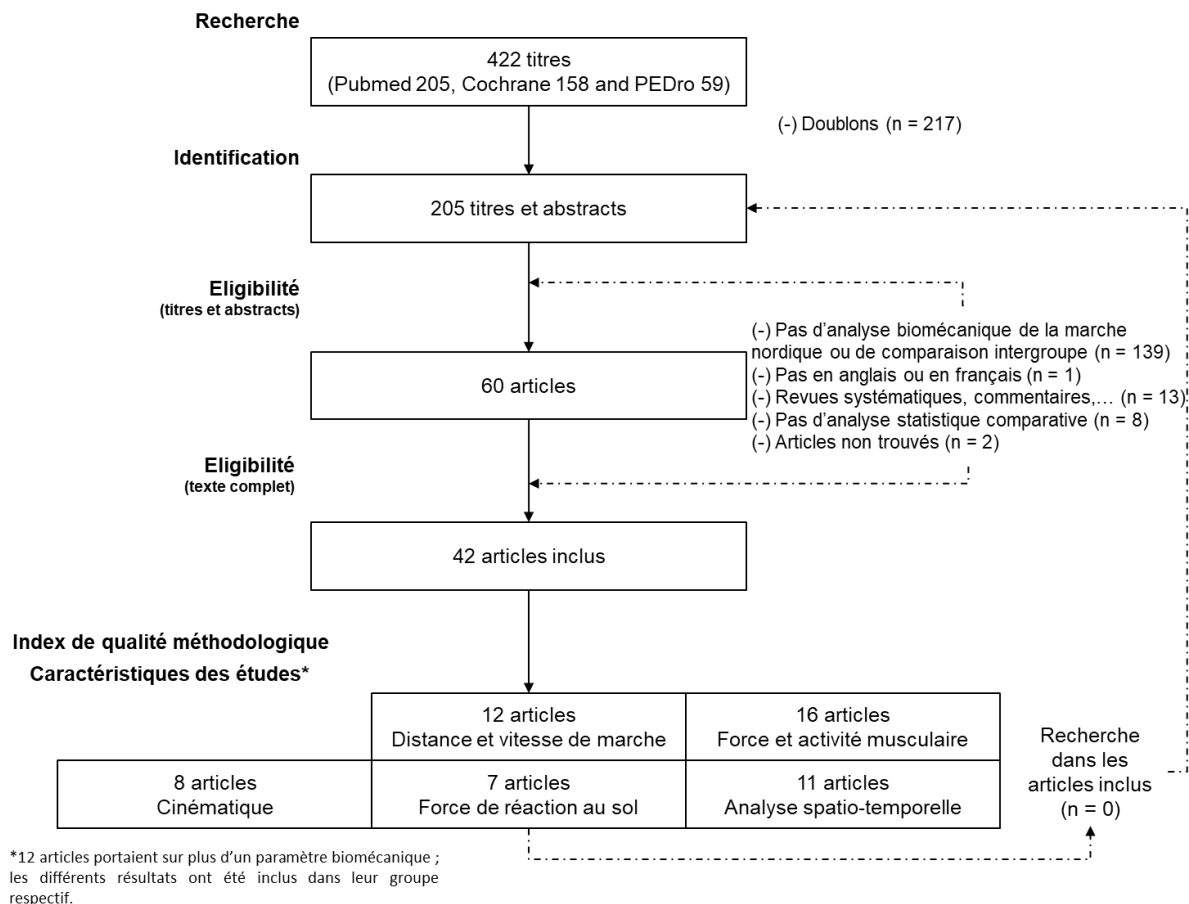


Figure 1 – Diagramme de flux

Concernant l'index de qualité méthodologique (Annexe II), le score PEDro moyen est de 5.5/10. Le score le plus bas étant de 3/10 (35,47,56) et le plus haut 8/10 (27). Deux items concernant le double aveugle (thérapeutes et sujets) n'ont jamais pu être remplis pour aucune des études choisies. Les deux critères suivants sont respectés par plus de 90% des études : la similarité intragroupe au début de l'étude et les 85% de suivi. Le critère de comparaison statistique intergroupe est rempli par toutes les études. Le score PEDro a été calculé puis comparé avec le score trouvé sur le site PEDro (pour les articles dont le score est disponible). S'il y a une différence entre les deux scores, j'ai utilisé le score que j'ai calculé.

4.2. Caractéristiques des études

Parmi les études retenues, vingt-deux sont des essais contrôlés randomisés, une est un essai contrôlé pseudo-randomisé et dix-neuf sont des essais contrôlés non randomisés. Compte tenu du nombre limité d'études, elles ont toutes été analysées sans prendre en compte le type d'étude ou l'index de qualité méthodologique. Les résultats présentés ci-dessous devront donc être interprétés avec prudence.

Concernant les caractéristiques des participants, la plupart des études ($n = 26$, 62%) sont composées de participants sains. Sept études concernent des patients atteints de la maladie de Parkinson, une des patients atteints de fibromyalgie, six des patients avec des maladies cardio-vasculaires et deux des patients arthrosiques. Le nombre moyen de participants ($\pm$ écart-type) est de 36.1 ± 30.1 avec une moyenne d'âge de 50.3 ± 18.7 ans. De manière générale, 55.1% des participants sont des hommes et 44.9% des femmes.

Les critères d'inclusion/non-inclusion les plus courants sont que les participants doivent pouvoir marcher sans aide technique et qu'ils ne doivent pas avoir de problèmes neuromusculaires ou musculosquelettiques qui pourraient empêcher la pratique de la MN ou toutes autres activités impliquant la marche. Cependant 19 études ne spécifient pas de critères de non-inclusion. Pour les études incluant des patients, les critères sont spécifiques à chaque maladie. Par exemple, pour les études avec des sujets Parkinsoniens, 5 études utilisent la classification de Hoehn & Yahr (les études incluent des patients du stage I au stage II) et 2 études utilisent les critères de United Kingdom Parkinson's Disease Society Brain Bank Clinical Diagnostic (48). L'étude à propos de la fibromyalgie inclut des patients en se basant sur les critères de l'American College of Rheumatology (1990) (26). Pour les études s'intéressant aux pathologies cardio-vasculaires, les critères d'inclusion sont maladie-spécifiques (par exemple, bronchopneumopathie chronique obstructive, insuffisance cardiaque, ...). Enfin, les études avec des patients atteints d'arthrose s'appuient sur un diagnostic clinique d'arthrose confirmée soit par les critères de l'American College of Rheumatology pour l'arthrose de hanche (18), soit par un diagnostic radiographique pour l'arthrose de genou (17).

4.3. Protocole

Sur les 42 études choisies, 20 sont des évaluations réalisées sur une seule journée. Parfois, ces études incluent une pré-visite pour récolter les données administratives et anthropométriques des participants ou pour leur expliquer la procédure qui va suivre ou encore pour leur apprendre la technique de MN avant le jour de l'évaluation. Pour les autres études, la durée moyenne du programme d'entraînement en MN est de 11 semaines (étendue : 4-36 semaines). Ces études incluent une évaluation avant et après le programme d'entraînement. Deux études incluent des évaluations pendant le programme (14,31) et une étude (42) a réalisé un suivi 10 mois après la fin du programme. En moyenne, 3 sessions de MN sont réalisées par semaine (étendue : 2-5 sessions) et chaque session dure en moyenne 61 minutes (étendue : 30-75 minutes). Quatre études (28,31,35,42) ne précisent pas la durée des sessions et une étude (42) ne spécifie pas le nombre de séance par semaine.

4.4. Résultats

En considérant l'approche biomécanique que j'ai choisi pour étudier les effets de la MN et pour faciliter la lecture des résultats (Figure 1, Annexe III), cinq catégories ont été faites. Douze articles s'intéressent à la vitesse et à la distance de marche, seize à la force et à l'activation musculaire, onze aux paramètres spatio-temporaux, huit à la cinématique et sept aux forces de réaction au sol et cinq à la pression plantaire. Pour des raisons de clarté, les résultats résumés sont présentés dans des tableaux récapitulatifs pour chaque partie (les résultats complets sont disponibles en Annexe IV).

4.4.1. Vitesse et distance de marche (12 études : 624 participants)

La plupart des études (9/10) considèrent la distance de marche en se basant sur le test de marche de 6 minutes ou le test de marche de 12 minutes. Ils justifient ce choix par la facilité de ces tests pour évaluer les capacités fonctionnelles à la marche. Une étude a étudié la distance maximale de marche comme résultat principal (13). De manière générale et unanime ces études mettent en évidence que les groupes de MN augmentent leurs résultats au test en moyenne de $14.8 \pm 8.0\%$. La meilleure amélioration ($+ 29.2\%$) est retrouvée dans l'étude de Keast et al. (32) qui est composée de patients atteints d'insuffisance cardiaque.

En comparant la MN et la MSB, trois études trouvent que la distance de marche des groupes de MN est significativement plus élevée, et trois autres études trouvent aussi une augmentation mais elle n'est pas significative. En comparant la MN à un groupe contrôle sédentaire ou bien à un groupe faisant de l'activité physique générale, les résultats sont meilleurs dans le groupe de MN.

Certaines études comparent la vitesse de marche ; deux considèrent la vitesse naturellement choisie (23,28) par le participant et elles trouvent que les groupes de MN marchent $24.5 \pm 18.2\%$ plus rapidement que les groupes de MSB. Bang et al. (27) utilisent le test des 10 mètres et trouvent une plus grande amélioration dans le groupe de MN que dans le groupe de MSB avec des patients atteints de la maladie de Parkinson (amélioration dans le groupe de MN : $+ 9.6\%$).

D'autres études s'intéressent à des patients avec une claudication intermittente ; la distance de claudication est considérée par 2 études s'intéressant à des patients atteints d'artériopathies des membres inférieurs (13,56). Les groupes de MN améliorent leur distance de claudication en moyenne de $53.0 \pm 17.0\%$, comparé aux groupes de MSB.

Population	Articles	Autre(s) technique(s) utilisé(e) (vs. MN)	Variables étudiées	Différence(s) inter-groupe	Différence(s) pré/post programme
Population saine	Encarnacion et al. 2014 (23)	MSB	Vitesse de marche spontanée	↑ 11.6%**	NP
	Saulicz et al. 2015 (24)	GCS	TM6	↑ 8%**	↑ 8.3%**
	Takeshima et al. 2013 (25)	Exercices de renforcement, MSB, GCS	TM12	NS (vs. MSB) ↑ 9.8% (vs. renfo)**	↑ 10.9%**
Fibromyalgie	Mannerkorpi et al. 2010 (26)	MSB	TM12	↑ 6%**	↑ 7.2%**
Maladie de Parkinson	Bang et al. 2016 (27)	Entraînement sur tapis de marche	TM6 T10M	↑ 16.2%* ↓ 9.6%*	↑ 27%* ↓ 27.6%*
	Monteiro et al 2016 (28)	MSB	Vitesse de marche spontanée	↑ 37.3%**	NP
	Girolid et al. 2017 (29)	MSB	TM6	↑ 8.4%**	↑ 11.0%**
	Piotrowicz et al. 2014 (30)	GCS	TM6	↑ 3.2%*	↑ 12.1%**
Maladies cardio-vasculaire et pulmonaire	Bulińska et al. 2015 (56)	Entraînement sur tapis de marche	TM6	NP	↑ 10.7%**
			Distance maximale de marche sur tapis	NP	↑ 62.1%**
			Distance de claudication (TM6)	NP	↑ 44.7%**
			Distance de claudication (sur tapis)	NP	↑ 45.6%**
	Oakley et al. 2008 (13)	MSB	Distance maximale de marche Distance de claudication	↑ 38.3%** ↑ 68.8%**	NP NP
	Breyer et al. 2010 (31)	GCS	TM6	↑ 22.2%**	↑ 17.1%**
	Keast et al. 2013 (32)	GCS	TM6	NP	↑ 29.2%**

* : $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, GCS : groupe contrôle sédentaire, NP : non précisé, NS : non significatif, TM6 : test de marche de 6 minutes, TM12 : test de marche de 12 minutes, T10M : test des 10 mètres

Figure 2 – Vitesse et distance de marche

4.4.2. Activation (8 études : 127 participants) et force musculaire (7 études : 313 participants)

Huit études analysent l'activité musculaire avec un EMG de surface. Cette analyse est réalisée sur des muscles : des membres inférieurs (11,33,37,40), des membres supérieurs (11,33,36,38,40) et du tronc (12,57). Pour les membres inférieurs, généralement aucune différence n'est trouvée entre la MN et la MSB. Malgré tout, 2 études mettent en évidence une baisse de l'activation musculaire pour les muscles suivants : biceps fémoral, moyen fessier, vaste médial, droit fémoral pour une étude (40) ; et biceps fémoral, vaste latéral, gastrocnémiens et tibial antérieur pour l'autre étude (37).

Concernant les muscles des membres supérieurs, toutes les études s'accordent sur une augmentation de l'activation des muscles suivants : biceps brachial, triceps brachial, deltoïde (antérieur et postérieur). Trois études (11,33,38) trouvent une augmentation de l'activation du grand dorsal et deux une augmentation de l'activation du trapèze (36,38). Schiffer et al. (36) étudient l'EMG des membres supérieurs en rajoutant du poids sur les bâtons ; la seule différence trouvée est une augmentation de l'activation du biceps brachial quand un poids de 1.5kgs est ajouté par rapport à un bâton sans poids ajouté.

Enfin pour les muscles du tronc, deux études (12,57) reportent une augmentation de l'activation des obliques externes et des grands droits pour le groupe de MN. L'étude de Zoffoli et al. (12) spécifie que cette augmentation de l'activation n'est présente que lorsque la pente du tapis de marche est augmentée. Cette même étude (12) trouve aussi une augmentation de l'activation des érecteurs du rachis à 100% de la vitesse de transition entre la marche et la course.

Sept études (15,24,25,34,34,35,39) étudient la force avec soit des tests fonctionnels comme la flexion du coude ou la chaise (ces deux test sont extraits du Senior Fitness Test (58)), soit avec une analyse quantitative de la force évaluée : dynamomètre ou testing manuel (force de préhension (59), flexion d'épaule). Pour les résultats des membres inférieurs, cinq études trouvent une amélioration au sein des groupes de MN et quatre études une amélioration en comparant à d'autres groupes (une versus MSB ; une versus contrôle sédentaire ; deux versus activité physique générale) et une étude ne trouve pas de différence. Généralement, la MN augmente la force des membres supérieurs pour 6 études sur 7. Une étude a comparé la MN à un programme d'activité physique générale (35), cette étude a trouvé de meilleurs résultats au test de flexion du coude pour le groupe d'activité physique avec des adultes âgés en bonne santé.

Population	Articles	Autre(s) technique(s) utilisé(e) (vs. MN)	Variables étudiées	Différence(s) inter-groupe	Différence(s) pré/post programme
Population saine	Shim et al. 2013 (33)	MSB	EMG, biceps brachial, triceps brachial, deltoïde, grand dorsal EMG, membres inférieurs	↑ NP* NS	NP NP
	Saulicz et al. 2015 (24)	MSB	Flexion de coude Chaise	↑ 21.8%** ↑ 39.7%**	↑ 14.0%** ↑ 15.8%**
	Takeshima et al. 2013 (25)	Exercices de renforcement, MSB, GCS	Flexion de coude Chaise	↓ 12.3% (vs. renfo)** ↑ 6.9% (vs. MSB)** NS	NP NP
	Song et al. 2013 (34)	MSB, GCS	Force de préhension Assis/debout Flexion de coude	↑ 14.4% (vs. GCS)** ↓ 18.0% (vs. MSB)** ↑ 21.2% (vs. MSB vs. GCS)**	↑ 11.8%** ↑ 22.4%** ↑ 22.4%**
	Lee et Park, 2015 (35)	Exercices de renforcement	Chaise Force membres supérieurs	↑ 20.6 %* NS	↑ 25.8%*
	Parkatti et al. 2012 (15)	GCS	Chaise Flexion de coude	↑ 2.9%* ↑ 8.3%*	↑ 15.3%** ↑ 19.7%**
	Schiffer et al. 2010 (36)	MN avec différents poids ajoutés sur les bâtons	EMG, biceps brachial, triceps brachial, trapèze, deltoïde	↑ NP*	NP
	Sugiyama et al. 2013 (37)	MSB	EMG, vaste latéral, biceps fémoral, triceps sural EMG, tibial antérieur	↓ NP* ↑ NP*	NP NP
	Zoffoli et al. 2017 (12)	MSB (2 vitesses, 2 inclinaisons)	EMG, érecteurs du rachis, oblique externe, grands droits	↑ NP*	NP
	Boccia et al. 2018 (38)	MSB	Grand dorsal, deltoïde postérieur et triceps brachial : s'activent plus tard lors de la MN Nombre de synergies musculaires ne changent pas entre MN et MSB EMG, trapèze supérieur, grand dorsal, deltoïde postérieur, biceps brachial et triceps brachial	NP NP NP	NP NP* NP*
	Mieszkowski et al. 2018 (39)	MN (doses de vitamine D différentes : forte vs. faible)	Flexion épaule (dose forte) Flexion épaule (dose faible)	NP NP	↑ 9.3%* ↑ 11.7%*
	Purny et al. 2018 (40)	MSB (2 vitesses, 2 inclinaisons)	EMG, moyen fessier (phase appui unipodal 1) EMG, moyen fessier (phase appui unipodal 2) EMG, vaste médial (phase oscillante 1) EMG, droit fémoral (phase oscillante 2) EMG, biceps fémoral (phase appui unipodal 1) EMG, biceps fémoral (phase oscillante 1) EMG, biceps fémoral (phase oscillante 2) EMG, grand fessier (phase oscillante 1)	↓ NP** ↑ NP** ↓ NP** ↓ NP** ↑ NP** ↓ NP** ↑ NP** ↑ NP**	NP NP NP NP NP NP NP NP
	Zoffoli et al. 2016 (41)	MSB (3 vitesses, 2 inclinaisons)	EMG, oblique externe, grand, multifides, érecteurs du rachis	↑ NP*	NP
	Pellegrini et al. 2015 (11)	MSB	EMG, grand dorsal, deltoïde antérieur, biceps brachial, triceps brachial, grands droits, moyen fessier	↑ NP*	NP
Arthrose	Bieler et al. 2016 (42)	Exercices de renforcement, exercice à la maison	Chaise	↑ NP*	↑ NP**
Maladie CV	Keast et al. 2013 (32)	Traitement habituel	Force de préhension (droite) Force de préhension (gauche)	↑ 2.8%* NS	NP

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, EMG : électromyographie, GCS : groupe contrôle sédentaire, NP : non précisé, NS : non significatif

Figure 3 – Activation et force musculaire

4.4.3. Analyse spatio-temporelle (11 études : 336 participants)

Les études renseignant sur les paramètres spatio-temporaux prennent en compte plusieurs variables. Parmi ces variables les 2 les plus utilisées sont : la cadence (pas/minute ou Hertz) et la longueur de la foulée et du pas (mètre). D'autres études considèrent des variables temporelles (seconde) comme la durée de la foulée, la durée du pas, le temps de simple appui et le temps de double appui.

La plupart des études trouvent une augmentation de la longueur de la foulée (7 sur 8) dans les groupes de MN et une diminution de la cadence (4 sur 6). La MN, en comparant au sein même du groupe mais aussi avec le groupe de MSB, augmente respectivement la longueur de la foulée de 10.4% et de $6.1 \pm 1.8\%$. De la même manière la MN diminue la cadence de $6.2 \pm 3.0\%$ au sein du groupe de MN et de $8.9 \pm 5.2\%$ en comparant avec le groupe de MSB. Park et al. sont les seuls à avoir mesurés la longueur du pas, ils trouvent une augmentation de 2.9% dans le groupe de MN (7).

Pour les variables temporelles, en comparant la MN à la MSB, le temps de simple appui ($+ 9.7 \pm 6.4\%$), le temps de double appui ($+ 21.4\%$) et le temps d'appui total ($+ 21.4 \pm 17.1\%$) augmentent.

Deux études ont cependant des résultats différents : une (7) compare la MN à la MSB dans un groupe de jeunes adultes sains (moyenne d'âge : 23 ans), cette étude reporte une cadence augmentée de 14.2% et une durée du pas et de la foulée diminuée (respectivement -13.6% et -13%). Une autre (48), comparant la MN entre 2 groupes différents, trouve une cadence diminuée dans le groupe des patients parkinsoniens (-8.9%) mais une cadence augmentée dans le groupe des seniors sains ($+ 1.7\%$).

Population	Articles	Autre(s) technique(s) utilisé(e) (vs. MN)	Variables étudiées	Différence(s) inter-groupe	Différence(s) pré/post programme
Population saine	Kocur et al. 2015 (43)	MSB	Longueur de foulée	↑ 3.2%*	↑ 10.4%*
			Cadence	↓ 2.3%*	↓ 8.3%*
	Park et al. 2015 (7)	MSB	Cadence	↑ 14.2%**	NP
			Longueur de foulée	↑ 9.2%**	NP
			Longueur du pas	↑ 2.9%**	NP
			Durée de foulée	↓ 13.0%**	NP
			Durée du pas	↓ 13.6%**	NP
	Hagen et al. 2011 (44)	MSB (4 vitesses), CAP (2 vitesses)	Temps d'appui total (1.4 m/s)	↑ 7.0%**	NP
			Temps d'appui total (1.9 m/s)	↑ 5.5%**	NP
			Temps d'appui total (2.2 m/s)	↑ 35.9% (vs. MSB vs. CAP)**	NP
			Temps d'appui total (2.4 m/s)	↑ 35.8% (vs. MSB vs. CAP)**	NP
	Pellegrini et al. 2017(45)	MSB	Fréquence de foulée	↓ 10.9%**	NP
	Dalton et Nantel 2016 (47)	MSB	Longueur de foulée	↑ 6.0%*	NP
			Cadence	↓ 5.5%*	↑ 12.9%*
Maladie de Parkinson	Dalton et Nantel 2016 (46)	MSB	Longueur de la foulée	↑ 6.1%**	NP
			Cadence	↓ 14.4%**	NP
			Temps de simple appui	↑ 17.1%**	NP
			Temps de double appui	↑ 21.4%**	NP
	Warlop et al. 2017(48)	MSB	Cadence (groupe Parkinson)	↓ 8.9%**	NP
			Cadence (groupe contrôle)	↑ 1.7%*	NP
			Longueur de foulée (Parkinson)	↑ 15.9%**	NP
			Longueur de foulée (contrôle)	↑ 9.5%	NP
	Reuter et al. 2011 (49)	MSB, exercices de flexibilité/étirement	Longueur de foulée	↑ NP (vs. étirements)**	NP
				↑ NP (vs. MSB)*	NP
			Variabilité longueur de foulée	↓ NP (vs. étirement)**	↑ NP**
				↓ NP (vs. MSB)**	NP
	Zhou et al. 2017 (50)	MSB	Temps de double appui	↓ NP (vs. étirement vs. MSB)**	NP
			Longueur de foulée (Parkinson)	↑ 6.0%*	NP
			Longueur de foulée (contrôle)	↑ 6.0%*	NP
			Temps simple appui (Parkinson)	↑ 7.5%*	NP
			Temps simple appui (contrôle)	↑ 5.0%*	NP
	Gougeon et al. 2017 (51)	MSB	Cadence (Parkinson)	NP	↓ 4.1%*
			Durée du cycle de marche	↑ 3.9%*	NP
	Fritz et al. 2011 (6)	MN (pré/post- programme)	Longueur de foulée et cadence	NS	NP
			Durée de foulée, temps de simple appui	NP	NS

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, CAP : course à pied, NP : non précisé, NS : non significatif

Figure 4 – Paramètres spatiotemporels

4.4.4. Cinématique (8 études : 143 participants)

L'analyse de la cinématique est réalisée pour les membres supérieurs (17,45), le tronc et le bassin (14,17,45,47,51) et pour les membres inférieurs (6,44,52). L'amplitude des mouvements est généralement exprimée en degrés ou en millimètres. Toutes les études comparent la MN à la MSB. Les études retrouvent une amplitude de mouvement augmentée pour les membres supérieurs (bras : + 23.4% et avant-bras : + 422.2%) (17,45). Pour le tronc, les résultats ne sont pas réguliers. Une étude ne retrouve pas de différence pour l'amplitude du tronc (45) ; une autre trouve une diminution de l'amplitude dans le plan sagittal (47) ; et une dernière une diminution dans le plan frontal (51). Pour les amplitudes du bassin, une étude (14) met en évidence une augmentation de l'inclinaison (dans le plan frontal) du bassin (+ 23.3%) et de la rotation du bassin (+ 233.3%). Pour les membres inférieurs, les résultats montrent de manière générale une augmentation des amplitudes. Une étude retrouve une augmentation de la flexion maximale de hanche (52), alors qu'une autre ne trouve pas de différence (6). Pour l'amplitude de genou, une augmentation est trouvée dans les plans sagittaux et transversaux (52). L'amplitude maximale de cheville en pronation est aussi augmentée de 15.4±6.5% (44, 52).

Population	Articles	Autre(s) technique(s) utilisé(e) (vs. MN)	Variables étudiées	Différence(s) inter-groupe	Différence(s) pré/post programme
Population saine	Stief et al. 2008 (52)	MSB, CAP	F hanche (à l'attaque du talon)	↑ 7%*	NP
			F max genou	↑ 11.3%*	NP
			Amplitude F/E de genou	↑ 7.5%*	NP
			ADD max genou	↑ 48.8%*	NP
			Amplitude R genou	↑ 6.6%*	NP
			P max cheville	↑ 24.9%*	NP
			Toutes les amplitudes étaient supérieures lors de CAP	NP*	NP
	Pellegrini et al. 2017 (45)	MSB	Amplitude tronc	NS	NP
			Amplitude bras	↑ 40.7%**	NP
			Amplitude avant-bras	↑ 422.2%**	NP
	Hagen et al. 2011 (44)	MSB (4 vitesses), CAP (2 vitesses)	P max cheville (1.4 m/s)	↑ 8.7%*	NP
			P max cheville (1.9 m/s)	↑ 18.8%*	NP
			P max cheville (2.2 m/s)	↑ 12.5%*	NP
			P max cheville (2.4 m/s)	↑ 12.0%	NP
	Dalton et Nantel 2016 (47)	MSB	Amplitude tronc (plan frontal)	NS	NP
			Amplitude tronc (plan sagittal)	↓ 13.5%*	NP
			Amplitude tronc (plan sagittal)	↓ 15.5%*	NP
	Park et al. 2014 (14)	MN (pré- /post-programme)	Bascule bassin	NP	↑ 23.3%**
			R bassin	NP	↑ 233.3%*
Arthrose	Bechard et al. 2012 (17)	MSB	Niveau de l'avant-bras (plan frontal)	↑ 6.0%**	NP
			Inclinaison tronc (1 ^{er} pic)	↓ 91.0%**	NP
			Inclinaison tronc (2 ^e pic)	↓ 73.7%**	NP
Maladie de Parkinson	Gugeon et al. 2017(51)	MSB	Amplitude tronc (plan frontal)	↓ 17.1%*	NP
			Amplitude tronc (plan sagittal et frontal)	NS	NP
	Fritz et al. 2011 (6)	MN (pré- /post-programme)	F max de hanche	NP	NS

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, ADD : adduction, CAP : course à pied, E : extension, F : flexion, NP : non précisé, NS : non significatif, P : pronation, R : rotation

Figure 5 – Cinématique

4.4.5. Force de réaction au sol (5 études : 99 participants) et pression plantaire (2 études : 62 participants)

De manière générale, la MN augmente les forces verticales de réaction au sol sauf lors de la phase d'impulsion ($-5.4 \pm 4.0\%$) dans 3 études (23,44,53). Park et al. (7) démontrent que les forces de réaction au sol sont diminuées au milieu de la phase d'appui de 10.9% mais uniquement car la vitesse choisie par les participants lors du passage avec la MN est plus élevée. Pour la pression plantaire, 2 études (54,55) trouvent que la MN diminue de 42.6% la pression à la tête des métatarsiens. Une étude (54) trouve quant à elle une diminution de la pression plantaire sous l'hallux (-64.6%).

Population	Articles	Autre(s) technique(s) utilisé(e) (vs. MN)	Variables étudiées	Différence inter-groupe
Population saine	Encarnacion et al. 2015 (23)	MSB (vitesse choisie et vitesse rapide)	Impact de la force V à l'attaque du talon (choisie) Impact de la force V à l'attaque du talon (rapide) Force V à l'attaque du talon (choisie) Force V à l'attaque du talon (rapide) Force V à la propulsion (choisie) Force V à la propulsion (rapide) Force AP à l'attaque du talon (choisie) Force AP à l'attaque du talon (rapide)	$\uparrow 27.0\%^{**}$ $\uparrow 8.4\%^{**}$ $\uparrow 11.7\%^{**}$ $\uparrow 5.6\%^{**}$ $\downarrow 5.3\%^{**}$ $\downarrow 10.9\%^{**}$ $\uparrow 35.5\%^{**}$ $\uparrow 23.1\%^{**}$
	Park et al. 2015 (7)	MSB	FRS (phase initiale UP) FRS (phase intermédiaire UP) FRS (phase terminale UP)	$\uparrow 12.18\%^{**}$ $\downarrow 10.9\%^{**}$ $\uparrow 3.8\%^{*}$
	Stief et al. 2008 (52)	MSB, CAP	Force max AP (impulsion) Autres données FRS (vs. MSB) <i>MN vs. CAP : les FRS sont plus importantes lors de la CAP sauf pour la force max AP à l'impulsion et à la réception</i>	$\uparrow 20.7\%^{**}$ NS NP ^{**}
	Jensen et al. 2010 (53)	MN (poussée normale sur les bâtons), MN (poussée augmentée sur les bâtons)	Pic de FRS (2 ^e pic de la phase unipodale) Force de compression dans le genou (2 ^e pic) Autres données de FRS (1 ^{er} pic)	$\downarrow 2.5\%^{*}$ $\uparrow 7.5\%^{*}$ NS
	Hagen et al. 2011 (44)	MSB, CAP (4 vitesses)	Force V à l'attaque du talon (1.39 m/s) Force V à la propulsion (1.94 m/s) Pic de force horizontale de décélération (1.94 m/s) <i>MN vs. CAP : les forces de réactions au sol sont plus importantes lors de la CAP</i>	$\uparrow 3.9\%^{*}$ $\downarrow 3.0\%^{*}$ $\uparrow 14.3\%^{*}$ NP ^{**}
	Encarnacion et al. 2017(54)	MSB	PP métatarsien central PP hallux PP : arche, calcanéus, métatarsien médial/latéral, doigts de pied	$\downarrow 46.2\%^{**}$ $\downarrow 64.6\%^{**}$ NS
	Hudson 2014 (42)	MSB	PP tête des métatarsiens lors de la propulsion PP : hallux, talon	$\downarrow$ NP ^{**} NS

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, AP : antéro-postérieur, CAP : course à pied, FRS : forces de réaction au sol, NP : non précisé, NS : non significatif, PP : pression plantaire, UP : unipodal, V : verticale

Figure 6 – Force de réaction au sol et pression plantaire

5. Discussion

La MN est un sport qui peut être utilisé comme une activité non supervisée pour améliorer la capacité de marche des patients. Dans ce sens, des études précédentes ont déjà démontré son intérêt mais en utilisant des critères globaux comme : la distance de marche, la VO_{2max} , le taux de masse grasse/indice de masse corporel, la capacité fonctionnelle d'exercice ou encore la douleur perçue. Par conséquent, le but de cette revue est d'évaluer les impacts de la MN non seulement sur des critères biomécaniques globaux mais aussi sur des critères plus spécifiques. Dans cette revue la MN a été étudié selon cinq approches : la vitesse et la distance de marche, l'activation et la force musculaire, les paramètres spatio-temporaux, la cinématique et les forces de réaction au sol. Quarante-deux études ont été incluses dans cette revue : vingt-deux études sont des essais contrôlés randomisés, une est un essai contrôlé pseudo-randomisé, dix-neuf sont des essais contrôlés non randomisés.

Avant toute considération, il est important de souligné que, compte tenu du faible nombre d'études trouvées, toutes les études ont été incluses dans l'analyse de cette revue. De plus, même si le score PEDro a été évalué et était connu, il n'a pas été pris en considération pour l'analyse des études. Le score PEDro moyen était de 5.5 ; ce qui signifie un score de qualité *acceptable* (60). En résumé, les résultats ci-dessous doivent être considérés avec prudence.

Concernant les caractéristiques des participants, les études incluent toutes sortes de participants. A part les personnes en bonne santé, les maladies le plus présentes sont la maladie de Parkinson, les maladies pulmonaires et cardio-vasculaires, l'arthrose et la fibromyalgie. Les participants ont aussi des niveaux d'activité physiques différents (sédentaire ou athlétique), des âges variés (les groupes incluent de participants de 21.4 (33) à 75.2 (35) ans) et une expérience avec la MN non homogène : certaines études étudient des instructeurs de MN (11,23,36,38,45,52), d'autres des novices. De manière générale, ces résultats suggèrent que la MN peut être pratiquée par une large gamme de participants.

Pour les protocoles, vingt études considèrent des évaluations sur une journée ; les autres études considèrent un programme de MN d'une durée moyenne de 11 semaines incluant une évaluation pré- et post-programme. Pour ces études, en moyenne 3 sessions de MN sont réalisées par semaine et chaque session dure 61 minutes. Comme certains participants sont novices (quelques heures de pratique) et d'autres sont des instructeurs de MN : ceci peut expliquer certaines disparités dans les résultats.

5.1. Vitesse et distance de marche

En considérant toutes les études et les différences statistiquement significatives, les groupes de MN augmentent en moyenne leur distance de marche de 14.8%. Pour les études comparant la MN et la MSB, l'amélioration de la distance de marche est de 10.1%. La MN augmente aussi la vitesse de marche de 25.5% pour les études sélectionnées en comparant la MN à la MSB.

Au vue de la littérature existante et en prenant en compte les patients atteints de la maladie de Parkinson, d'autres études ont aussi essayé des traitements actifs divers pour améliorer la marche. Une étude utilisant l'entraînement sur tapis de marche (3 fois par semaine pendant 4 semaine) trouve une distance au test des 6 minutes augmentée de 11.7% (61) ; une autre trouve une distance augmentée de 16.7% après 10 semaines de danse thérapie (62) ; une dernière étude sur la supplémentation en dopamine trouve une augmentation de cette distance de 8.3% en comparant les patients avec et sans le traitement (63). En comparant ces résultats, on trouve que la MN peut être utilisée comme une alternative simple pour améliorer la distance de marche et la vitesse pour prévenir les problèmes de marche chez les patients atteints de la maladie de Parkinson (64) au moins aussi bien que les autres traitements mentionnés ci-dessus. D'autres populations comme les personnes âgées ou les patients atteints de sclérose en plaque peuvent aussi bénéficier de la MN, car, plus l'âge ou la maladie progresse, plus la vitesse de marche tend à décroître (65,66).

5.2. Activation et force musculaire

Les différences d'activation et de force musculaire ont principalement été retrouvés pour les membres supérieurs. Les deux sont retrouvées augmentées quand on compare la MN à la MSB. Pour les membres inférieurs, l'activation musculaire ne diffère pas entre les deux types de marche, mais aux tests fonctionnels on retrouve de meilleurs résultats pour la MN. Pour les muscles du tronc, deux études (12,57) montrent une activation augmentée pour les obliques externes et les grands droits. De manière générale, la MN est une activité physique qui augmente l'activité et la force musculaire des membres supérieurs et du tronc (comparé à la MSB). Par conséquent ces améliorations peuvent être utiles pour les activités de la vie quotidienne qui sollicitent les membres supérieurs comme faire sa toilette, porter des objets ou préparer les repas (67).

La MN, en sollicitant la musculature de manière globale, peut donc prévenir la sarcopénie due à l'âge. En effet, la masse musculaire diminue annuellement de 1.5% de 50 à 60 ans (la moyenne d'âge des participants est de 50.3 (18.7) ans) et de 3% à parti de 60 ans (68). La même chose peut être observée dans la maladie de Parkinson où la sarcopénie est liée à la sévérité de la maladie (69) ; dans ce cas la marche peut être un bon moyen de faire de l'activité physique car elle augmente l'activation et la force musculaire.

5.3. Analyse spatio-temporelle

Les groupes de MN qui augmentent leur vitesse de marche (Cf. vitesse et distance de marche) paraissent privilégier une augmentation de la longueur de la foulée (+ 10.4%) tout en diminuant la cadence (- 6.2%). La diminution de la vitesse de marche en vieillissant commence par une diminution de la longueur du pas, qui sera être partiellement compensée par une augmentation de la cadence, mais, à terme, cela ne suffira plus à maintenir la vitesse (64). Ce schéma est aussi observé dans d'autres populations comme les patients atteints de la maladie de Parkinson (70) ou de sclérose en plaque (71) qui utilisent la même stratégie pour prévenir la baisse de la vitesse de marche. Donc, en privilégiant une augmentation de la longueur du pas, la MN pourrait préserver l'amplitude nécessaire pour marcher à vitesse constante et donc, éviter ou retarder la mise en place des schémas compensatoires.

En comparant avec d'autres études, dans un programme multicentres de thérapie physiques pour les patients atteints de sclérose en plaque, ils trouvent une augmentation de la longueur de la foulée de 5.1% à vitesse normale (72) ; pour les patients atteints de la maladie de Parkinson l'augmentation retrouvée est de 2.4% avec un programme combinant diverses activités (marche, danse ou étirement) (73). Ces effets sont moins importants que ceux observés dans les études de MN.

5.4. Cinématique

De manière générale, la MN augmente les amplitudes des quatre membres. Toutes les études de cette partie comparent la MN à la MSB. Une augmentation de l'amplitude pour les membres supérieurs peut être utile dans certaines maladies comme Parkinson ou les traumatismes crâniens. En effet, dans ces maladies, le balancement des bras et la coordination entre les ceintures sont diminués (74,75). Pour les mouvements du tronc, les résultats sont contradictoires et peu nombreux : une étude ne trouve pas de différence (45) ; une trouve une diminution des amplitudes dans le plan sagittal (47) ; et une dernière, une diminution dans le plan frontal (51). Pour les mouvements du bassin, une étude trouve une augmentation de la bascule et de la rotation du bassin (14). Comme la MN sollicite les quatre membres nous nous attendions à des études sur la coordination entre les ceintures, mais aucune étude analysant ce paramètre n'a été trouvée et/ou sélectionnée. Même si certaines études étudient l'amplitude et les mouvements du bassin et du tronc, les résultats ne sont pas consistants et pas assez nombreux. D'autres études sont nécessaires pour explorer la coordination des ceintures dans la MN.

5.5. Force de réaction au sol

Quand les personnes pratiquent la MN, on peut observer une augmentation des forces de réaction au sol dans toutes les directions sauf pour la force verticale qui est

diminuée au moment de la propulsion (- 5.4%) (23,44). La diminution des valeurs lors de la propulsion peut être expliquée par le fait que lors de la propulsion les forces sont aussi distribuées sur les bâtons. Pour l'augmentation générale des forces, des points importants sont à noter ; dans 3 études sur 5 (7,23,53) la vitesse n'est pas contrôlée et est augmentée (par rapport à la MSB). Pour les deux études qui contrôlent la vitesse, on trouve une diminution des forces verticales lors de la propulsion (44) mais l'autre ne trouve pas de différence significative en comparant à la MSB (52). D'autres études sont nécessaires pour vérifier si que l'augmentation des forces verticales est due à la vitesse (76) ou à la MN.

5.6. Limites

Cette revue considère toutes les études s'intéressant à la MN et incluant des évaluations de paramètres biomécaniques (globaux et spécifiques). La principale limitation de cette revue est que, pour des raisons d'exhaustivité, toutes les études qui répondent aux critères précédents ont été incluses pour l'analyse. En moyenne les études ont un score de qualité acceptable basé sur l'index de qualité méthodologique PEDro (score moyen : 5.5/10). Au vu de l'intérêt porté à ce sport, au nombre grandissant de pratiquants (77) et le potentiel de rééducation de la MN en tant qu'activité physique ; cette revue systématique devra donc être révisée dans le futur.

6. Conclusion

A la suite de cette analyse, la MN apparait comme un moyen efficace de faire de l'activité physique avec des effets positifs sur la vitesse et la distance de marche, l'activation musculaire, les paramètres spatio-temporaux, la cinématique et les forces de réaction au sol. Malgré une recherche exhaustive de la littérature, aucune étude n'incluait la dissociation des ceintures dans ses évaluations. Cette activité semble être une d'activité de rééducation non supervisée intéressante pour des populations variées. Mais, d'un côté, considérant le faible nombre d'études et leurs qualités, et d'un autre, considérant le nombre grandissant de pratiquants, d'autres études devront être réalisées pour confirmer les résultats trouvés dans cette revue.

Bibliographie

1. Meyns P, Bruijn SM, Duysens J. The how and why of arm swing during human walking. *Gait Posture*. sept 2013;38(4):555-62.
2. Author Guidelines | Physical Therapy | Oxford Academic [Internet]. [cité 12 oct 2019]. Disponible sur: https://academic.oup.com/ptj/pages/Author_Guidelines#Publication%20Process
3. Takakusaki K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *JMD*. 25 janv 2017;10(1):1-17.
4. Roemmich RT, Field AM, Elrod JM, Stegemöller EL, Okun MS, Hass CJ. Interlimb coordination is impaired during walking in persons with Parkinson's disease. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. janv 2013;28(1):93-7.
5. Morgulec-Adamowicz N, Marszalek J, Jagustyn P. Nordic Walking - A New Form of Adapted Physical Activity (A Literature Review). *Human Movement*. 1 juin 2011;12.
6. Fritz B, Rombach S, Godau J, Berg D, Horstmann T, Grau S. The influence of Nordic Walking training on sit-to-stand transfer in Parkinson patients. *Gait Posture*. juin 2011;34(2):234-8.
7. Park SK, Yang DJ, Kang YH, Kim JH, Uhm YH, Lee YS. Effects of Nordic walking and walking on spatiotemporal gait parameters and ground reaction force. *J Phys Ther Sci*. sept 2015;27(9):2891-3.
8. Cugusi L, Manca A, Yeo TJ, Bassareo PP, Mercuro G, Kaski JC. Nordic walking for individuals with cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Prev Cardiol*. 2017;24(18):1938-55.
9. Hagner-Derengowska M, Kałużny K, Kochański B, Hagner W, Borkowska A, Czamara A, et al. Effects of Nordic Walking and Pilates exercise programs on blood glucose and lipid profile in overweight and obese postmenopausal women in an experimental, nonrandomized, open-label, prospective controlled trial. *Menopause*. nov 2015;22(11):1215-23.
10. Suija K, Pechter U, Kalda R, Tähepõld H, Maaroos J, Maaroos H-I. Physical activity of depressed patients and their motivation to exercise: Nordic Walking in family practice. *Int J Rehabil Res*. juin 2009;32(2):132-8.
11. Pellegrini B, Peyré-Tartaruga LA, Zoppirolli C, Bortolan L, Bacchi E, Figard-Fabre H, et al. Exploring Muscle Activation during Nordic Walking: A Comparison between Conventional and Uphill Walking. *PLoS ONE*. 2015;10(9):e0138906.

12. Zoffoli L, Ditroilo M, Federici A, Lucertini F. Patterns of trunk muscle activation during walking and pole walking using statistical non-parametric mapping. *J Electromyogr Kinesiol.* déc 2017;37:52-60.
13. Oakley C, Zwierska I, Tew G, Beard JD, Saxton JM. Nordic poles immediately improve walking distance in patients with intermittent claudication. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* déc 2008;36(6):689-94; discussion 695-696.
14. Park H-S, Lee S-N, Sung D-H, Choi H-S, Kwon TD, Park GD. The effect of power nordic walking on spine deformation and visual analog pain scale in elderly women with low back pain. *J Phys Ther Sci.* nov 2014;26(11):1809-12.
15. Parkatti T, Perttunen J, Wacker P. Improvements in functional capacity from Nordic walking: a randomized-controlled trial among elderly people. *J Aging Phys Act.* janv 2012;20(1):93-105.
16. Bombieri F, Schena F, Pellegrini B, Barone P, Tinazzi M, Erro R. Walking on four limbs: A systematic review of Nordic Walking in Parkinson disease. *Parkinsonism Relat Disord.* 2017;38:8-12.
17. Bechard DJ, Birmingham TB, Zecevic AA, Jones IC, Leitch KM, Giffin JR, et al. The effect of walking poles on the knee adduction moment in patients with varus gonarthrosis. *Osteoarthr Cartil.* déc 2012;20(12):1500-6.
18. Bieler T, Siersma V, Magnusson SP, Kjaer M, Beyer N. Exercise induced effects on muscle function and range of motion in patients with hip osteoarthritis. *Physiother Res Int.* janv 2018;23(1).
19. Tschentscher M, Niederseer D, Niebauer J. Health benefits of Nordic walking: a systematic review. *Am J Prev Med.* janv 2013;44(1):76-84.
20. PRISMA [Internet]. [cité 2 mai 2019]. Disponible sur: <http://prisma-statement.org/>
21. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials. *Phys Ther.* 1 août 2003;83(8):713-21.
22. PEDro-P Scale for Critical Appraisal of Group Comparison Studies | Evidence Based Practice in Optometry EBP Australia UNSW [Internet]. [cité 4 juin 2019]. Disponible sur: <https://www.eboptometry.com/content/medical-optometry/ebp-resource-step-3-appraise/optometrists-students-teachers/pedro-p-scale-critical-appraisal-group-comparison-studies>
23. Encarnación-Martínez A, Pérez-Soriano P, Llana-Belloch S. Differences in ground reaction forces and shock impacts between nordic walking and walking. *Res Q Exerc Sport.* 2014;86(1):94-9.

24. Saulicz M, Saulicz E, Myśliwiec A, Wolny T, Linek P, Knapik A, et al. Effect of a 4-week Nordic walking training on the physical fitness and self-assessment of the quality of health of women of the perimenopausal age. *Prz Menopauzalny*. juin 2015;14(2):105-11.
25. Takeshima N, Islam MM, Rogers ME, Rogers NL, Sengoku N, Koizumi D, et al. Effects of nordic walking compared to conventional walking and band-based resistance exercise on fitness in older adults. *J Sports Sci Med*. 2013;12(3):422-30.
26. Mannerkorpi K, Nordeman L, Cider A, Jonsson G. Does moderate-to-high intensity Nordic walking improve functional capacity and pain in fibromyalgia? A prospective randomized controlled trial. *Arthritis Res Ther*. 2010;12(5):R189.
27. Bang D-H, Shin W-S. Effects of an intensive Nordic walking intervention on the balance function and walking ability of individuals with Parkinson's disease: a randomized controlled pilot trial. *Aging Clin Exp Res*. 2016;29(5):993-9.
28. Monteiro EP, Franzoni LT, Cubillos DM, de Oliveira Fagundes A, Carvalho AR, Oliveira HB, et al. Effects of Nordic walking training on functional parameters in Parkinson's disease: a randomized controlled clinical trial. *Scand J Med Sci Sports*. 2016;27(3):351-8.
29. Girold S, Rousseau J, Le Gal M, Coudeyre E, Le Henaff J. Nordic walking versus walking without poles for rehabilitation with cardiovascular disease: Randomized controlled trial. *Ann Phys Rehabil Med*. juill 2017;60(4):223-9.
30. Piotrowicz E, Zieliński T, Bodalski R, Rywik T, Dobraszkiewicz-Wasilewska B, Sobieszkańska-Małek M, et al. Home-based telemonitored Nordic walking training is well accepted, safe, effective and has high adherence among heart failure patients, including those with cardiovascular implantable electronic devices: a randomised controlled study. *Eur J Prev Cardiol*. 2014;22(11):1368-77.
31. Breyer M-K, Breyer-Kohansal R, Funk G-C, Dornhofer N, Spruit MA, Wouters EFM, et al. Nordic walking improves daily physical activities in COPD: a randomised controlled trial. *Respir Res*. 22 août 2010;11:112.
32. Keast M-L, Slovinec D'Angelo ME, Nelson CRM, Turcotte SE, McDonnell LA, Nadler RE, et al. Randomized trial of Nordic walking in patients with moderate to severe heart failure. *Can J Cardiol*. nov 2013;29(11):1470-6.
33. Shim J-M, Kwon H-Y, Kim H-R, Kim B-I, Jung J-H. Comparison of the Effects of Walking with and without Nordic Pole on Upper Extremity and Lower Extremity Muscle Activation. *J Phys Ther Sci*. déc 2013;25(12):1553-6.

34. Song M-S, Yoo Y-K, Choi C-H, Kim N-C. Effects of nordic walking on body composition, muscle strength, and lipid profile in elderly women. *Asian Nurs Res (Korean Soc Nurs Sci)*. mars 2013;7(1):1-7.
35. Lee HS, Park JH. Effects of Nordic walking on physical functions and depression in frail people aged 70 years and above. *J Phys Ther Sci*. août 2015;27(8):2453-6.
36. Schiffer T, Knicker A, Montanarella M, Strüder HK. Mechanical and physiological effects of varying pole weights during Nordic walking compared to walking. *Eur J Appl Physiol*. 2010;111(6):1121-6.
37. Sugiyama K, Kawamura M, Tomita H, Katamoto S. Oxygen uptake, heart rate, perceived exertion, and integrated electromyogram of the lower and upper extremities during level and Nordic walking on a treadmill. *J Physiol Anthropol*. 13 févr 2013;32(1):2.
38. Boccia G, Zoppirolli C, Bortolan L, Schena F, Pellegrini B. Shared and task-specific muscle synergies of Nordic walking and conventional walking. *Scand J Med Sci Sports*. mars 2018;28(3):905-18.
39. Mieszkowski J, Niespodziński B, Kochanowicz A, Gmiat A, Prusik K, Prusik K, et al. The Effect of Nordic Walking Training Combined with Vitamin D Supplementation on Postural Control and Muscle Strength in Elderly People-A Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 7 sept 2018;15(9).
40. Psurny M, Svoboda Z, Janura M, Kubonova E, Bizovska L, Martinez Lemos RI, et al. The Effects of Nordic Walking and Slope of the Ground on Lower Limb Muscle Activity. *J Strength Cond Res*. janv 2018;32(1):217-22.
41. Zoffoli L, Lucertini F, Federici A, Ditroilo M. Trunk muscles activation during pole walking vs. walking performed at different speeds and grades. *Gait Posture*. 2016;46:57-62.
42. Bieler T, Siersma V, Magnusson SP, Kjaer M, Christensen HE, Beyer N. In hip osteoarthritis, Nordic Walking is superior to strength training and home-based exercise for improving function. *Scand J Med Sci Sports*. août 2016;27(8):873-86.
43. Kocur P, Wiernicka M, Wilski M, Kaminska E, Furmaniuk L, Maslowska MF, et al. Does Nordic walking improves the postural control and gait parameters of women between the age 65 and 74: a randomized trial. *J Phys Ther Sci*. déc 2015;27(12):3733-7.
44. Hagen M, Hennig EM, Stieldorf P. Lower and upper extremity loading in nordic walking in comparison with walking and running. *J Appl Biomech*. févr 2011;27(1):22-31.

45. Pellegrini B, Peyré-Tartaruga LA, Zoppirolli C, Bortolan L, Savoldelli A, Minetti AE, et al. Mechanical energy patterns in nordic walking: comparisons with conventional walking. *Gait Posture*. 2017;51:234-8.
46. Dalton CM, Nantel J. Substantiating Appropriate Motion Capture Techniques for the Assessment of Nordic Walking Gait and Posture in Older Adults. *J Vis Exp*. 12 2016;(111).
47. Dalton C, Nantel J. Nordic Walking Improves Postural Alignment and Leads to a More Normal Gait Pattern Following Weeks of Training: A Pilot Study. *J Aging Phys Act*. 2016;24(4):575-82.
48. Warlop T, Detrembleur C, Buxes Lopez M, Stoquart G, Lejeune T, Jeanjean A. Does Nordic Walking restore the temporal organization of gait variability in Parkinson's disease? *J Neuroeng Rehabil*. 21 févr 2017;14(1):17.
49. Reuter I, Mehnert S, Leone P, Kaps M, Oechsner M, Engelhardt M. Effects of a flexibility and relaxation programme, walking, and nordic walking on Parkinson's disease. *J Aging Res*. 2011;2011:232473.
50. Zhou L, Gougeon M-A, Nantel J. Nordic Walking Improves Gait Power Profiles at the Knee Joint in Parkinson's Disease. *J Aging Phys Act*. 2017;26(1):84-8.
51. Gougeon M-A, Zhou L, Nantel J. Nordic Walking improves trunk stability and gait spatial-temporal characteristics in people with Parkinson disease. *NeuroRehabilitation*. 2017;41(1):205-10.
52. Stief F, Kleindienst FI, Wiemeyer J, Wedel F, Campe S, Krabbe B. Inverse dynamic analysis of the lower extremities during nordic walking, walking, and running. *J Appl Biomech*. nov 2008;24(4):351-9.
53. Jensen SB, Henriksen M, Aaboe J, Hansen L, Simonsen EB, Alkjaer T. Is it possible to reduce the knee joint compression force during level walking with hiking poles? *Scand J Med Sci Sports*. déc 2010;21(6):e195-200.
54. Encarnación-Martínez A, Lucas-Cuevas ÁG, Pérez-Soriano P, Menayo R, Gea-García GM. Plantar Pressure Differences between Nordic Walking Techniques. *J Hum Kinet*. juin 2017;57:221-31.
55. Hudson D. The effect of walking with poles on the distribution of plantar pressures in normal subjects. *PM R*. févr 2014;6(2):146-51.
56. Bulińska K, Kropielnicka K, Jasiński T, Wojcieszczyk-Latos J, Pilch U, Dąbrowska G, et al. Nordic pole walking improves walking capacity in patients with intermittent claudication: a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil*. 2015;38(13):1318-24.

57. Zoffoli L, Ditroilo M, Federici A, Lucertini F. Local stability and kinematic variability in walking and pole walking at different speeds. *Gait Posture*. 2017;53:1-4.
58. Langhammer B, Stanghelle JK. The Senior Fitness Test. *Journal of Physiotherapy*. 1 juill 2015;61(3):163.
59. Bellace JV, Healy D, Besser MP, Byron T, Hohman L. Validity of the Dexter Evaluation System's Jamar dynamometer attachment for assessment of hand grip strength in a normal population. *J Hand Ther*. mars 2000;13(1):46-51.
60. PEDro score [Internet]. Stroke Engine. [cité 20 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.strokingengine.ca/en/glossary/pedro-score/>
61. Picelli A, Varalta V, Melotti C, Zatezalo V, Fonte C, Amato S, et al. Effects of treadmill training on cognitive and motor features of patients with mild to moderate Parkinson's disease: a pilot, single-blind, randomized controlled trial. *Funct Neurol*. 30 mars 2016;31(1):25-31.
62. De Natale ER, Paulus KS, Aiello E, Sanna B, Manca A, Sotgiu G, et al. Dance therapy improves motor and cognitive functions in patients with Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation*. 1 janv 2017;40(1):141-4.
63. Workman CD, Thrasher TA. The influence of dopaminergic medication on gait automaticity in Parkinson's disease. *Journal of Clinical Neuroscience*. 1 juill 2019;65:71-6.
64. Pirker W, Katzenschlager R. Gait disorders in adults and the elderly. *Wien Klin Wochenschr*. 2017;129(3):81-95.
65. Shema-Shiratzky S, Gazit E, Sun R, Regev K, Karni A, Sosnoff JJ, et al. Deterioration of specific aspects of gait during the instrumented 6-min walk test among people with multiple sclerosis. *J Neurol* [Internet]. 6 sept 2019 [cité 25 sept 2019]; Disponible sur: <https://doi.org/10.1007/s00415-019-09500-z>
66. Satoh Y, Yamada T, Shimamura R, Ohmi T. Comparison of foot kinetics and kinematics during gait initiation between young and elderly participants. *J Phys Ther Sci*. juill 2019;31(7):498-503.
67. Vasconcelos Rocha S, Souza dos Santos S, Carneiro Vasconcelos LR, Alves dos Santos C. Strength and ability to implement the activities of daily living in elderly resident in rural areas. *Colomb Med (Cali)*. 47(3):167-71.
68. Dawson A, Dennison E. Measuring the musculoskeletal aging phenotype. *Maturitas*. nov 2016;93:13-7.

69. Vetrano DL, Pisciotta MS, Laudisio A, Lo Monaco MR, Onder G, Brandi V, et al. Sarcopenia in Parkinson Disease: Comparison of Different Criteria and Association With Disease Severity. *J Am Med Dir Assoc*. 2018;19(6):523-7.
70. Cole MH, Silburn PA, Wood JM, Worringham CJ, Kerr GK. Falls in Parkinson's disease: Kinematic evidence for impaired head and trunk control. *Movement Disorders*. 2010;25(14):2369-78.
71. Comber L, Galvin R, Coote S. Gait deficits in people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*. 1 janv 2017;51:25-35.
72. Leone C, Kalron A, Smedal T, Normann B, Wens I, Eijnde BO, et al. Effects of Rehabilitation on Gait Pattern at Usual and Fast Speeds Depend on Walking Impairment Level in Multiple Sclerosis. *Int J MS Care*. 2018;20(5):199-209.
73. Myers PS, McNeely ME, Pickett KA, Duncan RP, Earhart GM. Effects of exercise on gait and motor imagery in people with Parkinson disease and freezing of gait. *Parkinsonism Relat Disord*. août 2018;53:89-95.
74. Nanhoe-Mahabier W, Snijders AH, Delval A, Weerdesteyn V, Duysens J, Overeem S, et al. Walking patterns in Parkinson's disease with and without freezing of gait. *Neuroscience*. 19 mai 2011;182:217-24.
75. Ustinova KI, Langenderfer JE, Balendra N. Enhanced arm swing alters interlimb coordination during overground walking in individuals with traumatic brain injury. *Hum Mov Sci*. avr 2017;52:45-54.
76. Wang X, Ma Y, Hou BY, Lam W-K. Influence of Gait Speeds on Contact Forces of Lower Limbs. *J Healthc Eng [Internet]*. 2017 [cité 18 sept 2019];2017. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5523200/>
77. Nordic Walking Today [Internet]. ANWA.us. [cité 3 oct 2019]. Disponible sur: <https://www.americannordicwalking.com/nordic-walking-today>

Tableaux des figures

Figure 1 – Diagramme de flux.....	5
Figure 2 – Vitesse et distance de marche.....	9
Figure 3 – Activation et force musculaire	11
Figure 4 – Paramètres spatiotemporels.....	13
Figure 5 – Cinématique.....	14
Figure 6 – Force de réaction au sol et pression plantaire	15

Annexes

Annexe I : Grille PRISMA

Annexe II : Scores PEDro

Annexe III : Caractéristiques des études retenues

Annexe IV : Résultats complets

Annexe I : Grille PRISMA

Section/topic	#	Checklist item	Reported on page #
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review, meta-analysis, or both.	1
ABSTRACT			
Structured summary	2	Provide a structured summary including, as applicable: background; objectives; data sources; study eligibility criteria, participants, and interventions; study appraisal and synthesis methods; results; limitations; conclusions and implications of key findings; systematic review registration number.	2-3
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of what is already known.	4
Objectives	4	Provide an explicit statement of questions being addressed with reference to participants, interventions, comparisons, outcomes, and study design (PICOS).	5
METHODS			
Protocol and registration	5	Indicate if a review protocol exists, if and where it can be accessed (e.g., Web address), and, if available, provide registration information including registration number.	6
Eligibility criteria	6	Specify study characteristics (e.g., PICOS, length of follow-up) and report characteristics (e.g., years considered, language, publication status) used as criteria for eligibility, giving rationale.	7-8
Information sources	7	Describe all information sources (e.g., databases with dates of coverage, contact with study authors to identify additional studies) in the search and date last searched.	6
Search	8	Present full electronic search strategy for at least one database, including any limits used, such that it could be repeated.	6
Study selection	9	State the process for selecting studies (i.e., screening, eligibility, included in systematic review, and, if applicable, included in the meta-analysis).	7
Data collection process	10	Describe method of data extraction from reports (e.g., piloted forms, independently, in duplicate) and any processes for obtaining and confirming data from investigators.	7
Data items	11	List and define all variables for which data were sought (e.g., PICOS, funding sources) and any assumptions and simplifications made.	7
Risk of bias in individual studies	12	Describe methods used for assessing risk of bias of individual studies (including specification of whether this was done at the study or outcome level), and how this information is to be used in any data synthesis.	7
Summary measures	13	State the principal summary measures (e.g., risk ratio, difference in means).	7-8
Synthesis of results	14	Describe the methods of handling data and combining results of studies, if done, including measures of consistency (e.g., I^2) for each meta-analysis.	7-8

Section/topic	#	Checklist item	Reported on page #
Risk of bias across studies	15	Specify any assessment of risk of bias that may affect the cumulative evidence (e.g., publication bias, selective reporting within studies).	7
Additional analyses	16	Describe methods of additional analyses (e.g., sensitivity or subgroup analyses, meta-regression), if done, indicating which were pre-specified.	-
RESULTS			
Study selection	17	Give numbers of studies screened, assessed for eligibility, and included in the review, with reasons for exclusions at each stage, ideally with a flow diagram.	9
Study characteristics	18	For each study, present characteristics for which data were extracted (e.g., study size, PICOS, follow-up period) and provide the citations.	9-10
Risk of bias within studies	19	Present data on risk of bias of each study and, if available, any outcome level assessment (see item 12).	9
Results of individual studies	20	For all outcomes considered (benefits or harms), present, for each study: (a) simple summary data for each intervention group (b) effect estimates and confidence intervals, ideally with a forest plot.	11-15
Synthesis of results	21	Present results of each meta-analysis done, including confidence intervals and measures of consistency.	11-15
Risk of bias across studies	22	Present results of any assessment of risk of bias across studies (see Item 15).	11-15
Additional analysis	23	Give results of additional analyses, if done (e.g., sensitivity or subgroup analyses, meta-regression [see Item 16]).	11-15
DISCUSSION			
Summary of evidence	24	Summarize the main findings including the strength of evidence for each main outcome; consider their relevance to key groups (e.g., healthcare providers, users, and policy makers).	15-20
Limitations	25	Discuss limitations at study and outcome level (e.g., risk of bias), and at review-level (e.g., incomplete retrieval of identified research, reporting bias).	20
Conclusions	26	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence, and implications for future research.	15-20
FUNDING			
Funding	27	Describe sources of funding for the systematic review and other support (e.g., supply of data); role of funders for the systematic review.	21

Annexe II : Scores PEDro

Articles	Eligibility criteria	Random allocation	Concealed allocation	Baseline similarity between groups	Blinding of subjects	Blinding of therapists	Blinding of assessors	> 85% follow-up	Intention-to-treat	Between group statistical comparison	Point measures and variability	PEDro score	PEDro score (database)
Encarnacion et al. 2014 (23)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Saulicz et al. 2015 (24)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Takeshima et al. 2013 (25)	yes	no	no	yes	no	no	no	no	yes	yes	yes	4	not found
Mannerkorpi et al. 2010 (26)	yes	yes	yes	yes	no	no	yes	yes	yes	yes	yes	8	8
Bang et Shin 2016 (27)	yes	yes	yes	yes	no	no	yes	yes	no	yes	yes	7	7
Piotrowicz et al. 2014 (30)	yes	yes	no	yes	no	no	no	yes	no	yes	yes	5	5
Bulińska et al. 2015 (56)	yes	no	no	yes	no	no	no	no	no	yes	yes	3	3
Oakley et al. 2008 (13)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Breyer et al. 2010 (31)	yes	yes	yes	yes	no	no	no	yes	no	yes	no	5	5
Keast et al. 2013 (32)	yes	yes	yes	no	no	no	yes	yes	yes	yes	no	6	6
Shim et al. 2013 (33)	yes	yes	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	5	not found
Song et al. 2013 (34)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	yes	5	5
Lee et Park, 2015 (35)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	no	yes	no	3	not found
Parkatti et al. 2012 (15)	yes	yes	yes	yes	no	no	yes	yes	no	yes	yes	7	8
Schiffer et al. 2010 (36)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Sugiyama et al. 2013 (37)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Zoffoli et al. 2017 (12)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Boccia et al. 2018 (38)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Mieszkowski et al. 2018 (39)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	yes	5	5
Psurry et al. 2018 (40)	no	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Zoffoli et al. 2016 (41)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Pellegrini et al. 2015 (11)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Bieler et al. 2016 (42)	yes	yes	no	yes	no	no	yes	no	yes	yes	yes	6	6
Kocur et al. 2015 (43)	yes	yes	yes	yes	no	no	yes	yes	no	yes	no	6	6
Park et al. 2015 (7)	no	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found

Stief et al. 2008 (52)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Hagen et al. 2011 (44)	no	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Pellegrini et al. 2017 (45)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Dalton et Nantel, 2016 (47)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	no	yes	no	3	not found
Dalton et Nantel, 2016 (46)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Park et al. 2014 (14)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Bechard et al. 2012 (17)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Warlop et al. 2017 (48)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Reuter et al. 2011 (49)	yes	yes	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	yes	6	6
Zhou et al. 2017 (50)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Gougeon et al. 2017 (51)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Fritz et al. 2011 (6)	yes	yes	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	yes	6	6
Jensen et al. 2010 (53)	no	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Encarnacion et al. 2017 (54)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Hudson 2014 (55)	yes	no	no	yes	no	no	no	yes	yes	yes	no	4	not found
Monteiro et al. 2016 (28)	no	yes	no	yes	no	no	no	yes	no	yes	yes	5	5
Giroud et al. 2017 (29)	yes	yes	no	yes	no	no	yes	yes	yes	yes	yes	7	7
Percentage	88.1	31.0	14.3	97.6	0.0	0.0	16.7	92.9	78.6	100.0	31.0	5.5	-

Annexe III : caractéristiques des études retenues

Domain	Population	Articles	Type of study	Participants (N, [N per gender], mean [SD] age)	Inclusion criteria	Exclusion criteria	Protocol (task, sessions [N and W], frequency, intensity)	Evaluations	PEDro score
Walking speed and distance	Healthy population	Encarnacion et al. 2014 (23)	Non-randomized controlled trial	20 (10 ♂/10 ♀), 25.9 (4.54) y	Healthy NW instructor No current injuries Physically active	No existing orthotics prescription No lower limb injuries (last 3 W)	NA	NW and CW: 12 m long walkway, at 2 speeds, with and without poles for both speeds, 5 trials Self-selected speed Evaluation at W0 and W4 6MWT	4
		Saulicz et al. 2015 (24)	Randomized controlled trial	NW group: 42 ♀ in, 52.3 (2.6) y Control group: 42 ♀, 51.9 (3.0) y	No contraindication to perform exercise Age between 48-58 y Voluntary consent	Control group: not doing exercise for 4 W	NW group: 10 sessions, 4 W, 60/ session Control group: did not exercise for 4 W		4
		Takeshima et al. 2013 (25)	Randomized controlled trial	NW group: 17 (8 ♂/ 9 ♀), 70.1 (5.3) y CW group: 16 (8 ♂/ 8 ♀), 68.0 (4.9) y Band-based resistance group: 15 (5 ♂/10 ♀), 68.0 (5.4) y Control group: 17 (NP gender), NP y	Sedentary people for whom exercise was not contraindicated for health reasons Age > 60 y	NP	NW group: 12 W, 3/ W, 50'-70/ session CW group: 12 W, 3/ W, 50'-70/ session Band-based resistance group: 12 W, 2/ W, 50'-60/ session Control group: NP	Evaluation at W0 and W12 12MWT	4
		Mannerkorpi et al. 2010 (26)	Randomized controlled trial	NW group: 34 ♀, 48 (7.8) y CW group: 33 ♀, 50 (7.6) y	Verification of American College of Rheumatology (1990) criteria	No other severe disease Planned operation Treatment in progress	NW group: 15 W, 3/ W, 75/ session CW group: 15 W, 3/ W, 75/ session	Evaluation at W0 and W15 12MWT	6
	Parkinson disease	Bang et Shin 2016 (27)	Randomized controlled trial	NW group: 10 (5 ♂/ 5 ♀), 58.3 (7.71) y Treadmill training group: 10 (4 ♂/ 5 ♀), 60.6 (6.74) y	Stage I-III (Hoehn & Yahr) 2 or more of the 4 classic motor symptoms Ability to walk independently and without walking aids Stable medication Mini Mental State Examination score > 24	No comorbidity or disability precluding gait training No history of seizure Controlled health condition	NW group: 4 W, 5/ W, 60/ session Treadmill training group: 4 W, 5/ W, 60/ session	Evaluation at W0 and W4 6MWT and 10mWT	8
		Monteiro et al. 2016(28)	Randomized controlled trial	NW group: 16 (13 ♂/ 3 ♀), 64.9 (10.2) y CW group: 17 (7 ♂/ 10 ♀), 70.5 (5.8) y	Aged > 50 y Idiopathic PD Stage between 1 and 4 in Hoehn and Yahr Scale	NP	NW group: 18 sessions, 9W, NP intensity	Evaluation at W3 and W9 Self-selected speed	5
	Pulmonary and cardiovascular disease	Girold et al. 2017 (29)	Randomized controlled trial	NW group: 21 (NP gender), 56.6 (11) y CW group: 21 (NP gender), 58 (11) y	ACS or occlusive peripheral arterial disease, 1 or more transluminal angioplasties with stent(s) placement Able to follow the reconditioning program and tests	Sterotomy < 3 M before the study No revascularization Coordination or learning problem concerning NW technique Neuromuscular comorbidities Unstabilized cardiorespiratory status	NW group: 4W, 5W, 45/session of NW, 5 gyms sessions/W and 5 sessions of Adapted Physical Activity/W CW group: 4W, 5W, 45/session of CW, 5 gyms sessions/W and 5 sessions of Adapted Physical Activity/W	Evaluation at W0 and W4 6MWT	7
		Plotowicz et al. 2014 (30)	Randomized controlled trial	NW group: 75 (64 ♂/ 11 ♀), 54.4 (10.9) y Control group: 32 (31 ♂/ 1 ♀), 62.1 (12.5) y	Any aetiology of left ventricular systolic heart failure diagnosed > 3 M Left ventricular ejection fraction <40% on echo Clinically stable and stable medication before enrollment No contraindications to exercise training Able to undergo home-based cardiac telerehabilitation	Other cardiac problems (argina, coronary artery bypass, pacemaker, ...) Uncontrolled hypertension, Anaemia Acute and/or decompensated non-cardiac disease	NW group: 8 W, 5/ W, 45'-60/ session Control group: patients were not provided with a formal exercise training prescription and did not perform supervised rehabilitation.	Evaluation at W0 and W8 6MWT	5

Domain	Population	Articles	Type of study	Participants (nb, [nb per gender], mean [SD] age)	Inclusion criteria	Exclusion criteria	Protocol (task, sessions [nb and W], frequency, intensity)	Evaluations	PEDro score
Walking speed and distance	Pulmonary and cardiovascular disease	Bulinska et al. 2015 (56)	Pseudo-randomized controlled trial	NW group: 21 (12 ♂/9 ♀), 67 (9.3) y Treadmill training group: 31 (25 ♂/6 ♀), 67 (7.4) y	Ankle brachial index < 0.9 Claudication pain while walking Absence of contraindications for exercise program Patient consent	Limb ischemia, foot ulcers Inability to walk on a treadmill Inability to exercise 3 times W Current participation in other clinical trials Surgery or myocardial infarction < 3 M Poorly controlled hypertension Diabetes Mental disorders	NW group: 12 W, 3/ W, 30'-50'/session Treadmill training group: 12 W, 3/ W, 30'-50'/session (0.9 m/s and 12% slope) 6MWT Claudication distance (during exercise treadmill test)	Evaluation at W0 and W12 6MWT Maximum walking distance during exercise treadmill test Claudication distance (during 6MWT) Claudication distance (during exercise treadmill test)	3
		Oakley et al. 2008 (13)	Non-randomized controlled trial	20 ♂, 70 (NP SD) y	Stable intermittent claudication Ankle brachial pressure index < 0.9	Shortness of breath on exercise Severe arthritis Any other condition which precludes undertaking exercise	NA	NW and CW: treadmill walking, at 0.8 m/s and 4% slope, 1 trial/condition Maximum walking distance, claudication distance	4
		Breyer et al. 2010 (31)	Randomized controlled trial	NW group: 30 (14 ♂/16 ♀), 61.9 (8.87) y Control group: 30 (13 ♂/17 ♀), 59.0 (8.02) y	Chronic obstructive pulmonary disease patients	Self-reported exacerbation < 12 W Myocardial infarction < 6 M Cardiac arrhythmias Low grade > IIb Walking disturbances (muscle or bone diseases)	NW group: 12 W, 3/ W, NP intensity Control group: NP	Evaluation at W0, W12, W24 and W36 6MWT	5
		Keast et al. 2013 (32)	Randomized controlled trial	NW group: 27 (22 ♂/5 ♀), 62.8 (11.3) y Conventional care group: 27 (22 ♂/5 ♀), 62.1 (11.7) y	Age > 40 y Clinically stable heart failure Ejection fraction between 20-35% Ability to walk continuously for > 10'	Inability to read/understand English Treatment for a serious psychiatric disorder (past 10 y) Unwillingness to do the follow-up visits	NW group: 12 W, 2/ W, 60'/session Conventional care group: 12 W, 2/ W, 60'/session, participants were instructed to do the exercises at home	Evaluation at W0 and W12 6MWT	6
Muscular activation and strength	Healthy population	Shim et al. 2013 (33)	Randomized controlled trial	NW group: 13 (NP gender), 21.4 (0.87) y CW group: 13 (NP gender), 21.5 (0.77) y	Voluntary participation	Musculoskeletal, neurological and cardiovascular diseases present or past hindering the practice of NW	NA	NW and CW: 30' on treadmill set at 1.3 m/s on average EMG measurements at 10', 15', 20' and 25'; EMG of rectus femoris, lateral hamstring, tibialis anterior, gastrocnemius, biceps brachii, triceps long head, deltoid medius, latissimus dorsi	5
		Saulicz et al. 2015 (24)	Randomized controlled trial	NW group: 42 ♀, 52.3 (2.6) y Control group: 42 ♀, 51.9 (3.0) y	No contraindication to perform exercise Age between 48-58 y Voluntary consent	Control group: not doing exercise for 4 W	NW group: 10 sessions, 4 W, 60'/session Control group: did not exercise for 4 W	Evaluation at W0 and W4 Lower- and upper- body strength	4
		Takeshima et al. 2013 (25)	Randomized controlled trial	NW group: 17 (8 ♂/9 ♀), 70.1 (5.3) y CW group: 16 (8 ♂/8 ♀), 68.0 (4.9) y Band-based resistance group: 15 (5 ♂/10 ♀), 68.0 (5.4) y Control group: 17 (NP gender), NP y	Sedentary people for whom exercise was not contraindicated for health reasons Age > 60 y	NP	NW group: 12 W, 3/ W, 50'-70'/session CW group: 12 W, 3/ W, 50'-70'/session Band-based resistance group: 12 W, 2/ W, 50'-60'/session Control group: NP	Evaluation at W0 and W12 Arm curl and chair stand	4
		Song et al. 2013 (34)	Randomized controlled trial	NW group: 21 ♀, 67.8 (2.5) y CW group: 21 ♀, 68.2 (2.6) y Control group 25 ♀, 68.0 (2.5) y	Age > 65 y Want to participate Can communicate and perform physical activity Had not done exercise for the last 6 M	NP	NW group: 12 W, 3/ W, 60'/session CW group: 12 W, 3/ W, 60'/session	Evaluation at W0 and W12 Grip strength, sit-to-stand and arm curl	5

Domain	Population	Articles	Type of study	Participants (nb, [nb per gender], mean [SD] age)	Inclusion criteria	Exclusion criteria	Protocol (task, sessions [nb and WJ frequency, intensity])	Evaluations and assessments	PEDro score
Muscular activation and strength	Healthy population	Lee et al. 2015 (35)	Randomized controlled trial	NW group: 8 (NP gender), 75.2 (3.9) y General exercise group: 10 (NP gender), 73.9 (1.4) y	Age > 70 y Ability to understand Agree to the study Ability to communicate Mini Mental State Examination score > 24	NP	NW group: 12 W, 3/ W, NP intensity General exercise group: 12 W, 3/ W, 60/ session	Evaluation at W0 and W12 Lower- and upper- extremity muscle strength	3
		Parkati et al. 2012 (15)	Randomized controlled trial	NW group: 23 (13 ♂/ 10 ♀), 68.2 (3.8) y Control group: 14 (1 ♂/ 13 ♀), 69.9 (3.0) y	Age > 65 y Sedentary	Any disease known to limit exercise performance	NW group: 9 W, 2/ W, 60/ session Control group: NP	Evaluation at W0 and W9 Chair-stand test and arm curl	7
		Schiffer et al. 2010 (36)	Non-randomized controlled trial	12 ♀, 21 (2) y	NW instructors	NP	NA	CW, NW, NW (+0.5 kg), NW (+1 kg), NW (+1.5 kg): 7' walking test on a 400 m track, 5 trials/ condition EMG of biceps brachii, triceps brachii, trapezius, deltoideus	4
		Sugiyama et al. 2013 (37)	Non-randomized controlled trial	10 (4 ♂/ 6 ♀), 21.8 (1.0) y	Regularly engaged in physical exercise	NP	NA	NW and CW: begin at 1 m/s, increased by 0.2 m/s every 2' up to 2 m/s, 2 trials/ condition EMG of vastus lateralis, biceps femoris, tibialis anterior, gastrocnemius, triceps brachii	4
		Zoffoli et al. 2017 (12)	Non-randomized controlled trial	18 (9 ♂/ 9 ♀), 30.1 (7.2) y	Free from lower back pain Agree to restrain physical activity the day before each testing session	NP	NA	CW and NW: 2 speeds (60% and 100% of preferred transition speed), 2 slopes (grade 0 and 7 of the treadmill), 4 trials EMG of erector spinae longissimus, multifidus, external oblique, rectus abdominis	4
		Boccia et al. 2018 (38)	Non-randomized controlled trial	9 (5 ♂/ 9 ♀), 39 (12) y	NW instructors with > 2 y of experience No health condition that could affect exercise capacity	NP	NA	NW and CW: 5' on a treadmill, 2 trials/ condition EMG (recorded every 30'') of tibialis anterior, soleus, gastrocnemius medialis, vastus lateralis, rectus femoris, biceps femoris, semitendinosus, gluteus medius, upper trapezius, erector spinae, latissimus dorsi, anterior deltoid, posterior deltoid, biceps brachii, triceps brachii	4
		Mieszkowski et al. 2018 (39)	Randomized controlled trial	High intensity NW group: 16 ♀, 67.4 (6.30) y Moderate intensity NW group: 26 ♀, 69.1 (4.87) y	Mini Mental State Examination score > 27-30	Involved in any endurance or resistance activity (last 6 M) History of cardiovascular, neuromuscular neurological condition Took nutritional supplement	NW high intensity: 12 W, 3/ W, 60/ sessions NW moderate intensity: 12 W, 3/ W, 60/ sessions Vitamin supplementation: 2 different doses were tested in each group (low dose 800 IU/day and high dose 4000 IU/day)	Evaluation at W0 and W12 Dynamometer assessment of muscular strength: knee flexion, knee extension, elbow flexion, elbow extension	5
		Psuny et al. 2018 (40)	Non-randomized controlled trial	22 ♂, 22.8 (1.40) y	NP	NP	2 sessions of 1h NW instructions	NW and CW: 40 m track, 3 speeds (self-selected speed, self-selected speed +10%, self-selected speed +20%), 2 slopes (0% and 8%) EMG of gastrocnemius lateralis, tibialis anterior, vastus medialis, rectus femoris, biceps femoris, gluteus medius	4

Domain	Population	Articles	Type of study	Participants (nb, [nb per gender], mean [SD] age)	Inclusion criteria	Exclusion criteria	Protocol (task, sessions [nb and W], frequency, intensity)	Evaluations and assessments	PEDro score
Muscular activation and strength	Healthy population	Zoffoli et al. 2016 (41)	Non-randomized controlled trial	21 (10 ♂/11 ♀), ♂: 28.5 (5.6) y ♀: 33.0 (10.1) y	Free from chronic low back pain	NP	NA	NW and CW: 60, 80 and 100% of the preferred transition speed, 2 slopes (0% and 7%) 2 trials, 24 h apart EMG of external oblique, erector spinae longissimus, multifidus, rectus abdominis	4
		Pellegrini et al. 2015 (11)	Non-randomized controlled trial	9 ♂, 36.8 (11.9) y	NW instructors licensed by the International NW Federation with > 2 y of experience	NP	NA	NW and CW: 5' on a treadmill, speed: 1.1 m/s, slope: 15% EMG of lumbar erector spinae, trapezius, latissimus dorsi, deltoideus anterior, biceps brachii, caput lateralis of triceps brachii, rectus abdominis, gluteus medius, vastus lateralis, biceps femoris, gastrocnemius lateralis, tibialis anterior	4
	Osteoarthritis	Bieler et al. 2016 (42)	Randomized controlled trial	NW group: 50 (17 ♂/33 ♀), 70.0 (6.3) y Strength training group: 50 (16 ♂/34 ♀), 69.4 (5.4) y Home-based exercise group: 52 (16 ♂/36 ♀), 69.3 (6.4) y	Age > 60 y Hip osteoarthritis (were not waiting for hip replacement)	Symptomatic OA of knee or foot and other type of arthritis Previous hip fracture Comorbidity preventing exercise Treatment of hip (< 3 M) Inability to use public transport Perform exercise 2 or more/ W	NW group: 8 W, 3/ W, 60'/ session Strength training group: 8 W, 3/ W, 60'/ session Home-based exercise: 8 W, NP frequency, NP intensity	Evaluation at W0, W8, W48 Chair stand	6
	Cardiovascular disease	Keast et al. 2013 (32)	Randomized controlled trial	NW group: 27 (22 ♂/5 ♀), 62.8 (11.3) y Conventional care group: 27 (22 ♂/5 ♀), 62.1 (11.7) y	Age > 40 y Clinically stable heart failure Ejection fraction between 20-35% Ability to walk continuously for > 10'	Inability to read/understand English Treatment for a serious psychiatric disorder (past 10 y) Unwillingness to do the follow-up visits	NW group: 12 W, 2/ W, 60'/ session Conventional care group: 12 W, 2/ W, 60'/ session; participants were instructed to do the exercises at home	Evaluation at W0 and W12 Grip strength (left and right hands)	6
Spatiotemporal parameters	Healthy population	Kocur et al. 2015 (43)	Randomized controlled trial	NW group: 28 ♀, 70.5 (3.7) y Unsupervised CW group: 33 ♀, 71 (2.9) y	Age between 65-74 y No regular physical activity in leisure time Willing to participate	Age, regular physical activity criteria Professional activity Musculoskeletal dysfunction Other severe systemic condition	NW group: 12 W, 3/ W, 75'/ session CW group: 12 W, 3/ W, 75'/ session	Evaluation at W0 and W12 Spatiotemporal parameters	6
		Park et al. 2015 (7)	Controlled trial	NW group: 15 ♂, 23.2 (4.6) y CW group: 15 ♂, 23.8 (3.9) y	NP	NP	NA	NW and CW groups: 12 m walk at comfortable speed Spatiotemporal parameters	4
		Hagen et al. 2011 (44)	Non-randomized controlled trial	24 (12 ♂/12 ♀), 38 (13) y	NP	NP	NA	NW and CW: 4 different speeds (1.4 m/s, 1.9 m/s, 2.2 m/s and 2.4 m/s) Running: 2 different speeds (2.2 m/s and 2.4 m/s) Spatiotemporal parameters	4
		Pellegrini et al. 2017 (45)	Non-randomized controlled trial	8 ♂, 39.6 (12.6) y	NW instructors with > 2 y of experience	NP	NA	NW and CW: 5' test on a treadmill at 1.1 m/s Spatiotemporal parameters	4
		Dalton et Nantel 2016 (47)	Non-randomized controlled trial	12 (4 ♂/8 ♀), 66 (6.4) y	Age between 55-80 y Novice to NW No neurological condition, cognitive impairment, cardiac condition No previous injury affecting gait an upper extremity	Unable to walk without walking aid	NW group: 8 W, 2/ W, 60'/ session	Evaluation at W0 and W8 Spatiotemporal parameters	3

Domain	Population	Articles	Type of study	Participants (nb, nb per gender, mean (SD) age)	Inclusion criteria	Exclusion criteria	Protocol (task, sessions (nb and WJ, frequency, intensity)	Evaluations and assessments	PEDro score
Spatiotemporal parameters	Healthy population	Dalton et al. 2016 (46)	Non-randomized controlled trial	17 (NP gender), 69 (7.3) y	Age between 55-80 y Novice to NW No neurological, cognitive, or cardiac conditions No previous injury/surgery affecting gait or upper extremity No walking aid	NP	30' of NW instruction	NW and CW: 5 m walk, 2 trials/ condition Spatiotemporal parameters	4
		Warlop et al. 2017 (48)	Randomized controlled trial	PD patients: 14 (9 ♂/5 ♀), 62.2 (6.9) y Healthy control: 10 (3 ♂/7 ♀), 60.3 (4.8) y	PD patients: Fulfillment of the United Kingdom Parkinson's Disease Society Brain Bank Clinical Diagnostic Criteria Ability to perform 512 consecutive strides without the need for walking aid	History of other neurologic pathologies or orthopaedic pathologies that impair gait performance	NW instruction for both groups, then 1 W free home training	NW and CW: 12' of over ground walking session on a 42 m oval indoor track, 2 trials/ condition Evaluation at W0 and W24 Spatiotemporal parameters	4
		Reuter et al. 2011 (49)	Randomized controlled trial	NW group: 30 (NP gender), 62 (3.2) y CW group: 30 (NP gender), 63 (3.1) y Flexibility and relaxation group: 30 (NP gender), 62.1 (2.5) y	Stage II-III (Hoehn & Yahr) Stable medication	Severe concomitant disease	NW group: 24 W, 3/ W, 70/ session CW group: 24 W, 3/ W, 70/ session Flexibility and relaxation exercises protocol: 24 W, NP frequency, 70/ session	Evaluation at W0 and W24 Spatiotemporal parameters	6
	Parkinson disease	Zhou et al. 2017 (50)	Randomized controlled trial	PD patients: 12 (9 ♂/3 ♀), 61.6 (11.7) y Healthy older adults: 12 (4 ♂/8 ♀), 68 (6.4) y	PD patients: stage I-III (Hoehn & Yahr)	Other neurological condition Injuries/ surgeries of the lower extremity or shoulders	Both groups: W 6, 3-4/ W, 60/ session	Evaluation at W0 and W6 Spatiotemporal parameters	4
		Gougeon et al. 2017 (51)	Randomized controlled trial	PD patients: 12 (9 ♂/3 ♀), 61.6 (11.7) y Healthy older adults: 12 (4 ♂/8 ♀), 68 (6.4) y	PD patients: Idiopathic PD: stage I-III (Hoehn & Yahr) Healthy control group: NP	Montreal Cognitive Assessment score < 26 Unable to walk unassisted Severe freezing of gait episode Other neurological condition Orthopaedic, musculoskeletal conditions that can affect walking	Both groups: 12-16 sessions, 6 W, 30' to 45/ session	Evaluation at W0 and W6 Assessments: W, NW, W with cognitive task, NW with cognitive tasks Spatiotemporal parameters	4
		Fritz et al. 2011 (6)	Randomized controlled trial	PD patients 11 (8 ♂/3 ♀), 67 (6) y Healthy adults: 11 (8 ♂/3 ♀), 66 (6) y	PD: stage II-III (Hoehn & Yahr), Unified Parkinson's Disease Rating Scale > 20 in the off-stage Akinetic-rigid Constant medication > 4 W Time available for the whole study Agree to training, 1W Agreement with defined medication state Constant status of training for > 3 M Ability for compliance and agreement Healthy control: exemption of PD No other neurological disease Time available for the whole study Constant status of training for > 3M Ability for compliance and agreement	PD: tremor-dominant type Freezing Severe dyskinesia Change in medication during the study Other neurological disease Mental or psychological disturbances affecting regular and cooperative participation in training and testing Before study above 1/ W NW training Healthy control: Other neurological disease Physical, mental or psychological disturbances affecting regular and cooperative participation in training and testing Before the study more than 1/ W NW training or other endurance sports	Both groups group: 12 W, 3/ W, 60/ session	Evaluation at W0 and W12 Spatiotemporal parameters	6

Domain	Population	Articles	Type of study	Participants (n[b, [nb per gender], mean [SD] age)	Inclusion criteria	Exclusion criteria	Protocol (task, sessions [nb and W], frequency, intensity)	Evaluations and assessments	PEDro score
Kinetics	Healthy population	Slief et al. 2008 (52)	Non-randomized controlled trial	15 ♂, 31 (4.64) y	NW with an average of 2 y of experience Mean training weekly distance: 13 km 10 of 15 were NW instructors Rear foot strikers Report being free of injury	NP	NA	NW and CW: 20 m long walkway, controlled speed: 2.0±0.2 m/s Running: 4.0±0.2 m/s 5 valid trials/ subject/ condition Spatiotemporal parameters	4
		Pellegrini et al. 2017 (45)	Non-randomized controlled trial	8 ♂, 39.6 (12.6) y	NW instructors with > 2 y of experience	NP	NA	NW and CW: 5' test on a treadmill at 1.1 m/s Spatiotemporal parameters	4
		Hagen et al. 2011 (44)	Non-randomized controlled trial	24 (12 ♂/ 12 ♀), 38 (13) y	NP	NP	NA	NW and CW: 4 different speeds (1.4 m/s, 1.9 m/s, 2.2 m/s and 2.4 m/s) Running: 2 different speeds (2.2 m/s and 2.4 m/s)	4
		Dalton et Nantel 2016 (47)	Non-randomized controlled trial	12 (4 ♂/ 8 ♀), 68 (6.4) y	Age between 55-80 y Novice to NW No neurological condition cognitive impairment, cardiac condition No previous injury affecting gait an upper extremity	Unable to walk without walking aid	NW group: 8 W, 2/ W, 60/ session	Evaluation at W0, W6 and W12 Spatiotemporal parameters	3
		Park et al. 2014 (14)	Non-randomized controlled trial	16 ♀, 71.8 (3.6) y	Elderly ♀ Chronic low back pain	NP	1-6 W: NW speed 5-6 km/h, target heart rate 50-60% 7-12 W: NW speed 6-7 km/h, target heart rate 60-70%	Evaluation at W0, W6 and W12 Spatiotemporal parameters	4
		Bechard et al. 2012 (17)	Non-randomized controlled trial	22 ♂, 53.6 (9.8) y	Pain in 1 knee with confirmed varus gonarthrosis	NP	30' of NW instructions, then 1 W free home training	Evaluation at W1 NW and CW: barefoot on an 8 m long walkway Spatiotemporal parameters	4
	Parkinson disease	Gougeon et al. 2017 (51)	Randomized controlled trial	PD patients: 12 (9 ♂/ 3 ♀), 61.6 (11.7) y Healthy older adults: 12 (4 ♂/ 8 ♀), 68 (6.4) y	PD patients: Idiopathic PD: stage I-III (Hoehn & Yahr) Healthy control group: NP	Montreal Cognitive Assessment score < 26 Unable to walk unassisted Severe freezing of gait episode Other neurological condition Orthopaedic, musculoskeletal conditions that can affect walking, shoulder or elbow pain	Both groups: 12-16 sessions, 6 W, 30' to 45' session	Evaluation at W0 and W6 Assessments: W: NW, W with cognitive task, NW with cognitive tasks Spatiotemporal parameters	4
		Fritz et al. 2011 (6)	Randomized controlled trial	PD patients 11 (8 ♂/ 3 ♀), 67 (6) y Healthy adults: 11 (8 ♂/ 3 ♀), 66 (6) y	PD: stage II-III (Hoehn & Yahr), Unified Parkinson's Disease Rating Scale > 20 in the off-stage Akinetic-rigid Constant medication > 4 W Time available for the whole study Agree to training 1/W, with defined medication state Constant status of training for > 3 M Ability for compliance and agreement Healthy control: exemption of PD No other neurological disease Time available for the whole study period Constant status of training for > 3M Ability for compliance and agreement	PD: tremor-dominant type Freezing Severe dyskinesia Change in medication during the study Other neurological disease Mental or psychological disturbances affecting regular and cooperative participation in training and testing Before study above 1/ W NW training Healthy control: Other neurological disease Physical, mental or psychological disturbances affecting regular and cooperative participation in training and testing Before the study more than 1/ W NW training or other endurance sports	Both groups group: 12 W, 3/ W, 60/ session	Evaluation at W0 and W12 Spatiotemporal parameters	6

Domain	Population	Articles	Type of study	Participants (nb, [nb per gender], mean [SD] age) y	Inclusion criteria	Exclusion criteria	Protocol (task, sessions [nb and W], frequency, intensity)	Evaluations and assessments	PEDro score
Ground reaction force and plantar pressure	Healthy population	Encarnacion et al. 2015 (23)	Non-randomized controlled trial	20 (10 ♂, 10 ♀), 25.9 (4.54) y	Healthy NW instructor No current injuries Physically active	No existing orthotics prescription No lower limb injuries (last 3 M)	NA	NW and CW: 12 m long walkway, 2 speeds (preferred speed and fast speed) GRF	4
		Park et al. 2015 (7)	Controlled trial	NW group: 15 ♂, 23.2 (4.6) y CW group: 15 ♂, 23.8 (3.9) y	Consent of the subjects	NP	NA	NW and CW: 12 m long walkway at comfortable speed GRF	4
		Stief et al. 2008 (52)	Non-randomized controlled trial	15 ♂, 31 (4.64) y	NW with an average of 2 y of experience Mean training weekly distance: 13km 10 of 15 were NW instructors Rear foot strikers Report being free of injury	NP	NA	NW and CW: 20 m long walkway, 2.0 ± 0.2 m/s and 4.0 ± 0.2 m/s (running), 5 valid trials GRF	4
		Jensen et al. 2010 (53)	Non-randomized controlled trial	10 (4 ♂/ 6 ♀), 30 (NP SD) y	NP	NP	NA	NW: with normal pole load and increased pole load, 5 trials/ GRF	4
		Hagen et al. 2011 (44)	Non-randomized controlled trial	24 (12 ♂/ 12 ♀), 38 (13) y	Volunteer for the study	NP	NA	CW and NW: 4 speeds: 1.4 m/s, 1.9 m/s, 2.2 m/s and 2.4 m/s Running tests: 2.2 m/s and 2.4 m/s GRF	4
		Encarnacion et al. 2017 (54)	Controlled trial	NW Alpha Technique group: 15 (NP gender), 20.4 (1.6) y NW Diagonal Technique group: 12 (NP gender), 19.3 (0.5) y	No history of lower limb injuries < 6 M No previous use of foot orthoses Physically active	NP	NW instructions: 5 trials of 60' (2 different techniques were learned)	NW (both techniques): preferred speed and fast speed, 2 trials/ GRF	4
		Hudson 2014 (55)	Non-randomized controlled trial	35 (16 ♂/ 19 ♀), 27.3 (NP SD) y	Age between 18-65 y Able to walk without pain or assisting device	Noncompliant with practice	NW instruction 2-point pattern vs 3-point pattern, then 1 W of free practice	NW (both techniques): walking barefoot on a 7.6 m walkway GRF	4

Abbreviation: ♂, man/men; ♀, woman/women; 10mWT, 10 meters walking test; 12mWT, 12 minutes walking test; 6MWT, 6 minutes walking test; CW, conventional walking; EMG, electromyography; GRF, ground reaction force; M, month(s); NA, not applicable; nb, number; NP, non-precise data; NW, Nordic Walking; PD, Parkinson disease; W, week(s); y, years

Annexe IV : résultats complets

Population	Articles	Comparators	Outcomes (comparison between techniques; comparison pre-test/post-test for NW groups)	P value Percentage
Walking speed and distance	Healthy population	NW vs. CW	Self-selected speed: NW, 1.92 (0.13) m/s vs. CW, 1.72 (0.16) m/s	$p < 0.010$, ↑ 11.6%
		NW vs. SC	6MWT: NW, 568.3 (56.6) m vs. SC, 525.7 (63.9) m 6MWT: NW pre, 524.8 (65.4) m vs. NW post, 569.3 (56.6) m	$p < 0.001$, ↑ 8% $p < 0.001$, ↑ 8.3%
		NW vs. band-based exercises vs. CW vs. SC	12MWT: NW, 1266 (69) m vs. CW, 1313 (112) m 12MWT: NW, 1266 (69) m vs. SC, 1128 (77) m vs. band-based exercise, 1180 (133) m 12MWT: NW pre, 1142 (77) m vs. NW post 1266 (89) m	NS $p < 0.001$, ↑ 9.8% $p < 0.001$, ↑ 10.9%
		NW vs. CW	12MWT: NW, +37.7 (41.8) m vs. CW, +8.6 (42.2) m; <i>differences from baseline</i> 12MWT: NW pre, 525 (71) m vs. NW post, +37.7 (41.8) m	$p < 0.001$, ↑ 6% $p < 0.001$, ↑ 7.2%
		NW vs. treadmill training	6MWT: NW, 315.8 (44.6) m vs. treadmill training group, 271.4 (46.3) m 6MWT: NW pre, 248.6 (52.3) m vs. NW post, 315.8 (44.6) m 10mWT: NW, 10.25 (1.18) s vs. treadmill training group, 11.34 (1.97) s 10mWT: NW pre, 14.16 (1.71) s vs. NW post, 10.25 (1.18) s	$p < 0.050$, ↑ 16.2% $p < 0.050$, ↑ 27% $p < 0.050$, ↑ 9.6% $p < 0.050$, ↓ 27.6%
		NW vs. CW	Self-selected speed: NW, 0.75 (0.36) m/s vs. CW, 0.47 (0.36) m/s	$p < 0.001$, ↑ 37.3%
		NW vs. CW	6MWT: NW pre 526 (114) m vs. NW post, + 65 (29) m	$p < 0.001$, ↑ 11.0%
		NW vs. CW	6MWT: NW post, + 65 (29) m vs. CW post, + 25. (35) m	$p < 0.001$, ↑ 8.4%
		NW vs. SC	6MWT: NW, 480 (87) m vs. SC, 465 (91) m	$p = 0.048$, ↑ 3.2%
		NW vs. treadmill training	6MWT: NW pre, 428 (93) m vs. NW post, 480 (87) m	$p < 0.001$, ↑ 12.1%
	Parkinson disease	NW vs. treadmill training	6MWT: NW, 392.5 (63.9) m vs. treadmill training 375.11 (69.8) m 6MWT: NW pre, 354.0 (56.1) m vs. NW post, 392.5 (63.9) m MWD during exercise treadmill test: NW, 363.67 (225.2) m vs. treadmill training, 290.23 (222.3) m MWD during exercise treadmill test: NW pre, 224.4 (143.7) m vs. NW post, 364.7 (225.2) m Claudication distance during 6MWT: NW pre, 163.5 (91.3) m vs. NW post 236.6 (93.8) m Claudication distance during exercise treadmill test: NW, 166.05 (07.5) m vs. treadmill training 151.38 (95.3) m Claudication distance during exercise treadmill test: NW pre, 114.6 (92.4) m vs. NW post, 166.1 (97.5) m	NS NS $p < 0.001$, ↑ 10.7% $p < 0.001$, ↑ 62.1% $p < 0.010$, ↑ 44.7% NS
		NW vs. CW	MWD: NW, 285 (688) m vs. CW, 206 (705) m	$p < 0.001$, ↑ 45.6%
		NW vs. CW	Claudication distance: NW, 130 (734) m vs. CW, 77 (336) m	$p = 0.000$, ↑ 38.3% $p = 0.000$, ↑ 68.8%
		NW vs. SC	6MWT at W12: NW, 540 (159) m vs. SC, 442 (133) m	$p < 0.001$, ↑ 22.2%
		NW vs. SC	6MWT at W24: NW, 531 (142) m vs. SC, 428 (138) m	$p < 0.001$, ↑ 24.1%
		NW vs. SC	6MWT at W36: NW, 519 (160) m vs. SC, 422 (130) m	$p < 0.050$, ↑ 23.0%
		NW vs. SC	6MWT at W12: NW pre, 461 (154) m vs. NW post, 436 (128) m	$p < 0.001$, ↑ 17.1%
		NW vs. SC	6MWT follow-up: NW at W24, 531 (142) m vs. NW at W36, 519 (160) m; <i>values decreased with time</i>	$p < 0.050$, ↓ 2.3%
		NW vs. SC	6MWT at baseline: NW, + 56.9 m vs. SC, + 125.6 m; <i>different from baseline</i> 6MWT: NW pre, 429.9 (137.3) m vs. NW post, 555.5 (168.8) m	$p < 0.001$, ↑ 120.7% $p < 0.001$, ↑ 29.2%
		NW vs. CW	EMG, biceps mean activation: NW, 4.69 (3.55) % MVC vs. CW, 0.64 (0.54) % MVC EMG, biceps max activation: NW, 12.29 (7.77) % MVC vs. CW, 3.49 (2.35) % MVC EMG, triceps mean activation: NW, 11.23 (11.09) % MVC vs. CW, 1.58 (0.56) % MVC EMG, triceps max activation: NW, 32.00 (18.83) % MVC vs. CW, 6.59 (6.45) % MVC EMG, deltoid mean activation: NW, 3.81 (3.72) % MVC vs. CW, 1.38 (0.62) % MVC EMG, deltoid max activation: NW, 15.22 (11.50) % MVC vs. CW, 5.49 (3.60) % MVC EMG, latissimus dorsi max activation: NW, 33.69 (21.55) % MVC vs. CW, 14.88 (13.29) % MVC EMG, lower limb	$p < 0.050$, ↑ 632.8% $p < 0.050$, ↑ 252.1% $p < 0.050$, ↑ 610.8% $p < 0.050$, ↑ 385.6% $p < 0.050$, ↑ 176.1% $p < 0.050$, ↑ 177.2% $p < 0.050$, ↑ 126.4% NS
		NW vs. CW	Arm curl: NW, 17.9 (3.8) repetitions vs. CW, 14.7 (3.0) repetitions Arm curl: NW pre, 15.7 (3.2) repetitions vs. NW post, 17.9 (2.9) repetitions Chair stand: NW, 18.3 (2.8) repetitions vs. CW, 13.7 (3.1) repetitions Chair stand: NW pre, 15.8 (2.7) repetitions vs. NW post, 18.3 (2.8) repetitions	$p < 0.001$, ↑ 21.8% $p < 0.001$, ↑ 14.0% $p < 0.001$, ↑ 39.7% $p < 0.001$, ↑ 15.8%
Muscular activation and strength	Healthy population	NW vs. SC	Arm curl: NW, 27.8 (4.4) repetitions vs. band-based exercises, 31.7 (4.1) repetitions Arm curl: NW, 27.8 (4.4) repetitions vs. CW, 26.6 (3.2) repetitions vs. SC, 25.2 (3.5) repetitions Chair stand	$p < 0.001$, ↑ 12.3% $p < 0.001$, ↑ 6.9% NS
		NW vs. CW vs. SC	Grip strength: NW, 24.6 (3.9) kg vs. SC, 21.5 (5.5) kg Grip strength: NW, 24.6 (3.9) kg vs. CW, 25.3 (3.8) kg Grip strength: NW pre, 22.0 (4.1) kg vs. NW post, 24.6 (3.9) kg Sit-to-stand: NW, 19.7 (2.4) repetitions vs. SC, 17.6 (3.6) repetitions Sit-to-stand: NW, 19.7 (2.4) repetitions vs. CW, 21.1 (4.0) repetitions Sit-to-stand: NW pre, 16.1 (2.5) repetitions vs. NW post, 19.7 (2.4) repetitions Arm curl: NW, 27.4 (3.0) repetitions vs. CW, 26.1 (4.1) repetitions vs. SC, 22.6 (4.0) repetitions Arm curl: NW pre, 22.9 (2.6) repetitions vs. NW post, 27.4 (3.0) repetitions	$p < 0.001$, ↑ 14.4% NS $p < 0.001$, ↑ 11.8% NS $p < 0.001$, ↓ 18.0% $p < 0.001$, ↑ 22.4% $p < 0.001$, ↑ 21.2% $p < 0.001$, ↑ 22.4%

Population		Articles	Comparators	Outcomes (comparison between techniques; comparison pre-test/post-test for NW groups)	P value Percentage
Muscular activation and strength	Healthy population	Lee et Park, 2015 (35)	NW vs. general exercise	Chair stand: NW, 23.75 (3.28) repetitions vs. general exercise, 19.7 (3.4) repetitions Chair stand: NW pre, 18.88 (4.08) repetitions vs. NW post, 23.75 (3.28) repetitions Upper extremity strength	$p < 0.050$, ↑ 20.6% $p < 0.050$, ↑ 25.8% NS
		Parkatti et al. 2012 (15)	NW vs. SC	Chair stand: NW, 14.3 (2.0) repetitions vs. SC, 13.9 (2.6) repetitions Chair stand: NW pre, 12.4 (2.1) repetitions vs. NW post, 14.3 (2.0) repetitions Arm curl: NW, 17.0 (2.5) repetitions vs. SC, 15.7 (3.6) repetitions Arm curl: NW pre, 14.2 (3.6) repetitions vs. NW post, 17.0 (2.5) repetitions	$p < 0.050$, ↑ 2.9% $p = 0.000$, ↑ 15.3% $p < 0.050$, ↑ 8.3% $p = 0.000$, ↑ 19.7%
		Schiffier et al. 2010 (36)	NW with varying weights added to the poles (+0 kg, +0.5 kg, +1 kg, +1.5 kg) vs. CW	EMG, biceps max activation: $NW^{+0.5}$, 0.30 (0.18) mV and NW^{+1} , 0.30 (0.15) mV vs. CW, 0.089 (0.07) mV EMG, biceps max activation: $NW^{+1.5}$, 0.36 (0.17) mV vs. CW, 0.089 (0.07) mV and, NW, 0.14 (0.07) mV EMG, triceps max activation: NW, 0.23 (0.15) mV and $NW^{+0.5}$, 0.24 (0.15) mV and NW^{+1} , 0.26 (0.14) mV and $NW^{+1.5}$, 0.23 (0.15) mV vs. CW, 0.051 (0.74) mV EMG, trapezius max activation: $NW^{+1.5}$, 0.93 (0.85) mV and CW, 0.37 (0.19) mV EMG, deltoideus max activation: $NW^{+1.5}$, 0.22 (0.18) mV and NW^{+1} , 0.17 (0.12) mV and $NW^{+0.5}$, 0.13 (0.1) mV vs. CW, 0.12 (0.09) mV	$p < 0.050$, ↑ 237.1% $p < 0.050$, ↑ 214.4% $p < 0.050$, ↑ 370.6% $p < 0.050$, ↑ 151.5% $p < 0.050$, ↑ 41.7%
		Sugiyama et al. 2013 (37)	NW vs. CW	EMG, vastus lateralis: NW (60 m/min), 3.7 (18.6) % vs. CW (60 m/min), 100 % EMG vastus lateralis: NW (120 m/min), 217.2 (107.8) % vs. CW (120 m/min), 334.8 (168.7) % EMG, biceps femoralis: NW (110 and 120m/min) vs. CW (110 and 120m/min); no data available EMG gastrocnemius: NW (70, 90, 100 and 120m/min) vs. CW (70, 90, 100 and 120m/min); no data available EMG tibial anterior: NW (all speeds) vs. CW (all speeds); no data available	$p < 0.050$, ↑ 96.3% $p < 0.050$, ↑ 35.1% $p < 0.010$, ↓ NP $p < 0.050$, ↓ NP $p < 0.010$, ↑ NP
		Zoffoli et al. 2017 (12)	NW vs. CW (2 speeds, 2 grades)	Erectus spinae activation at grade 0-PTS100: NW vs. CW; recruitment was higher for NW; no data available External oblique and rectus abdominis at grade7-PTS 60 and grade7-PTS100: NW vs. CW; activation is higher for NW; no data available EO at both grades, PTS100: NW vs CW; longer activation for NW; no data available	$p < 0.050$ $p < 0.050$
		Boccia et al. 2018 (38)	NW vs. CW	Latissimus dorsi, PD and triceps brachii: activate later during NW (60-70% of the cycle) compare to CW (50% of the cycle); no data available Number of muscle synergy does not change between NW and W, 4 of them are shared between NW and W; no data available Increased activation of upper body muscles: upper trapezius, latissimus dorsi, posterior deltoid, biceps brachii and triceps brachii; no data available	NP NP $p = 0.423$ $p < 0.050$
		Mieszkowski et al. 2018 (39)	High intensity NW vs. moderate intensity NW (each tested with 2 different dose of vitamin D)	Elbow strength: high intensity NW with low dose pre, 26.56 (3.14) repetitions vs. high intensity with low dose post, 29.04 (3.62) repetitions Elbow strength: high intensity NW with high dose pre, 24.91 (3.33) repetitions vs. high intensity with high dose post, 27.83 (3.95) repetitions	$p < 0.025$, ↑ 9.3% $p < 0.025$, ↑ 11.7%
		Psurny et al. 2018 (40)	NW vs. CW (2 speeds, 2 grades)	EMG, gluteus lateralis activation during stance phase 1: NW vs. CW, no data available EMG, gluteus lateralis activation during stance phase 2: NW vs. CW, no data available EMG, vastus medialis activation during swing phase 1: NW vs. CW, no data available EMG, rectus femoris activation during swing phase 2: NW vs. CW, no data available EMG, biceps femoris activation during stance phase 1: NW vs. CW, no data available EMG, biceps femoris activation during swing phase 1: NW vs. CW, no data available EMG, biceps femoris activation during swing phase 2: NW vs. CW, no data available EMG, gluteus major activation during stance phase 1: NW vs. CW, no data available	$p < 0.001$, ↓ NP $p = 0.014$, ↓ NP $p = 0.007$, ↓ NP $p = 0.005$, ↓ NP $p = 0.002$, ↓ NP $p < 0.001$, ↓ NP $p = 0.014$, ↓ NP $p = 0.029$, ↑ NP
		Zoffoli et al. 2016 (41)	NW vs. CW (3 speeds, 2 grades)	EMG, external oblique activation and time activation at most grades and speeds: NW vs. CW, no data available EMG, rectus abdominis activation and time activation at most grades and speeds: NW vs. CW, no data available EMG, multifidus activation at grade 0-speeds: NW vs. CW, no data available EMG multifidus time activation at grade 0-PTS 100%: NW vs. CW, no data available EMG rectus spinae time activation at PTS100%: NW vs. CW, no data available Co-activation of the muscles at grade 0-PTS100% and at grade 7-all speeds: NW vs. CW, no data available	$p < 0.010$, ↑ NP $p < 0.010$, ↑ NP $p < 0.010$, ↑ NP $p < 0.050$, ↑ NP $p < 0.010$, ↑ NP $p < 0.010$, ↑ NP
		Pellegrini et al. 2015 (11)	NW vs. CW (2 speeds, 2 grades)	EMG, latissimus dorsi activation: NW vs. CW, no data available EMG, deltoideus anterior activation: NW vs. CW, no data available EMG, biceps brachii activation, NW vs. CW, no data available EMG, triceps brachii activation, NW vs. CW, no data available EMG, rectus abdominis activation, NW vs. CW, no data available EMG, gluteus medius activation: NW vs. CW, no data available	$p < 0.001$, ↑ NP $p = 0.006$, ↑ NP $p < 0.001$, ↑ NP $p < 0.001$, ↑ NP $p < 0.012$, ↑ NP $p = 0.009$, ↑ NP
		Bieler et al. 2016 (42)	NW vs. strength training vs. home-based exercise	Chair stand (8W): NW vs. home-based exercises, + 1.2 (min-max: 0.0-2.3) repetitions Chair stand (8W): NW vs. strength training, - 1.1 (min-max: 2.1-0.1) repetitions Chair stand (8W): NW post, + 1.5 (min-max: 0.4-2.7) repetitions Chair stand (16W): NW post, + 1.9 (min-max: 0.8-3.0) repetitions Chair stand (48W): NW post, + 2.5 (min-max: 1.2-3.7) repetitions	$p < 0.050$, ↑ NP $p < 0.050$, ↑ NP $p < 0.010$, ↑ NP $p < 0.010$, ↑ NP $p < 0.010$, ↑ NP
		Osteoarthritis			

Population	Articles	Comparators	Outcomes (comparison between techniques; comparison pre-test/post-test for NW groups)	P value Percentage
Muscular activation and strength	Cardiovascular disease	NW vs. conventional care	Right hand grip: NW, 36.2 (11.9) kg vs. conventional care, 35.6 (12.4) kg Left hand grip: NW, 36.3 (10.2) kg vs. conventional care, 36.4 (11.4) kg	$p = 0.026$, ↑ 2.8% NS
	Healthy population	NW vs. CW	Stride length: NW, 1.12 (0.11) m vs. CW, 1.09 (0.11) m Stride length: NW pre, 0.102 (0.09) m vs. NW post, 1.12 (0.11) m Cadence: NW, 55.6 (7.1) strides/ min vs. CW, 56.9 (4.3) strides/ min Cadence: NW pre, 60.6 (6.9) strides/ min vs. NW post, 55.6 strides/ min Cadence: NW, 118.84 (5.95) steps/ min vs. CW, 104.10 (6.32) steps/ min Stride length: NW, 1.42 (0.10) m vs. CW, 1.30 (0.15) m Step length: NW, 0.72 (0.06) m vs. CW, 0.70 (0.08) m Stride time: NW, 1.01 (0.05) s vs. CW, 1.16 (0.07) s Step time: NW, 0.51 (0.03) s vs. CW, 0.59 (0.04) s Total contact time (1.4 m/s): NW, 0.75 s vs. CW, 0.71 s Total contact time (1.9 m/s): NW, 0.61 s vs. CW, 0.58 s Total contact time (2.2 m/s): NW, 0.57 s vs. CW, 0.54 s vs. running, 0.30 s Total contact time (2.4 m/s): NW, 0.54 s vs. CW, 0.51 s vs. running, 0.30 s Stride frequency: NW, 0.758 (0.048) Hz vs. CW, 0.851 (0.059) Hz	$p < 0.050$, ↑ 3.2% $p < 0.050$, ↑ 10.4% $p < 0.050$, ↑ 2.3% $p < 0.050$, ↑ 8.3% $p < 0.001$, ↑ 14.2% $p < 0.001$, ↑ 9.2% $p < 0.005$, ↑ 2.9% $p < 0.001$, ↑ 13.0% $p < 0.001$, ↑ 13.6% $p < 0.010$, ↑ 7.0% $p < 0.010$, ↑ 5.5% $p < 0.010$, ↑ 35.9% $p < 0.010$, ↑ 35.8% $p < 0.001$, ↑ 10.9%
Spatiotemporal parameters	Healthy population	NW vs. CW (Vicon's data)	Stride length: NW pre, 1.41 (0.20) m vs. CW pre, 1.30 (0.20) m Stride length: NW post, 1.42 (0.19) m vs. CW post, 1.34 (0.22) m Cadence: NW pre, 94.15 (12.08) steps/min vs. CW pre, 106.56 (12.10) steps/min Cadence: NW post, 106.31 (7.82) steps/min vs. CW post, 112.53 (8.70) steps/min Cadence: NW pre, 94.15 (12.08) steps/min vs. NW post, 106.31 (7.82) steps/min Stride length: NW, 1.39 (0.19) m vs. CW, 1.31 (0.21) m Cadence NW, 93.07 (10.90) steps/min vs. CW, 108.78 (11.26) steps/min Double support time: NW, 0.34 (0.06) s vs. CW, 0.28 (0.06) s Single support time: NW, 0.48 (0.05) s vs. CW, 0.41 (0.04) s	$p < 0.050$, ↑ 8.5% $p < 0.050$, ↑ 6.0% $p < 0.050$, ↑ 11.6% $p < 0.050$, ↑ 5.5% $p < 0.050$, ↑ 12.9% $p < 0.010$, ↑ 6.1% $p < 0.010$, ↑ 14.4% $p < 0.010$, ↑ 21.4% $p < 0.010$, ↑ 17.1%
	Parkinson disease	NW vs. CW	Cadence (PD group): NW, 102.83 (13.16) steps/min vs. CW, 112.90 (9.48) steps/min Cadence (healthy control group): NW, 117.15 (5.47) steps/min vs. CW, 119.22 (4.55) steps/min Step length (PD group): NW 0.73 (0.09) m vs. CW, 0.63 (0.09) m Step length (healthy control group): NW, 0.81 (0.08) m vs. CW, 0.74 (0.09) m Stride length: NW vs. flexibility and relaxation exercise; <i>no data available</i> Stride length: NW vs. CW; <i>no data available</i> Stride length variability: NW pre vs. NW post; <i>no data available</i> Stride length variability: NW vs. flexibility and relaxation exercise; <i>no data available</i> Stride length variability: NW vs. CW; <i>no data available</i> Double stance phase time: NW vs. flexibility and relaxation exercise vs. CW; <i>no data available</i> Stride length (PD group): NW, 1.42 (0.16) m vs. CW, 1.34 (0.16) m Stride length (healthy control group): NW, 1.42 (0.19) m vs. CW, 1.34 (0.22) m Single support time (PD group): NW, 0.43 (0.05) s vs. CW, 0.40 (0.04) s Single support time (healthy control group): NW, 0.42 (0.06) s vs. CW, 0.40 (0.03) s Cadence (PD group): NW pre, 112.25 (10.57) steps/min vs. NW post, 107.62 (10.01) steps/min Gait cycle time: NW, 1.07 (0.08) s vs. CW, 1.03 (0.07) s Stride length and cadence	$p < 0.001$, ↑ NP $p < 0.050$, ↑ NP $p < 0.001$, ↑ NP $p < 0.001$, ↑ NP $p < 0.010$, ↑ NP $p < 0.001$, ↑ NP $p < 0.050$, ↑ 6.0% $p < 0.050$, ↑ 6.0% $p < 0.050$, ↑ 7.5% $p < 0.050$, ↑ 5.0% $p < 0.050$, ↑ 4.1% NS NS
Kinetics	Healthy population	NW vs. CW vs. running	Hip flexion at heel touch: NW, 49.12 (5.62) ° vs. CW, 45.90 (5.74) ° Knee max flexion: NW, 22.27 (8.00) ° vs. CW, 20.01 (7.75) ° Knee ROM flexion/extension: NW, 24.70 (3.13) ° vs. CW, 22.97 (3.31) ° Knee max adduction: NW, 13.41 (6.10) ° vs. CW, 9.01 (5.07) ° Knee ROM rotations: NW, 45.32 (10.70) ° vs. CW, 42.53 (11.33) ° Ankle max pronation: NW, 4.51 (2.61) ° vs. CW, 3.61 (2.71) ° <i>Joint angles ROM (hip, knee, ankle, metatarsophalangeal) during running are higher than NW and CW</i>	$p < 0.050$, ↑ 7% $p < 0.050$, ↑ 11.3% $p < 0.050$, ↑ 7.5% $p < 0.050$, ↑ 48.8% $p < 0.050$, ↑ 6.6% $p < 0.050$, ↑ 24.9%
	Healthy population	NW vs. CW	Trunk ROM: NW, 6.9 (1.7) ° vs. CW, 5.9 (1.9) ° Upper arm ROM: NW, 38 (12) ° vs. CW, 27 (11) ° Forearm ROM: NW, 9 (12) ° vs. CW, 47 (16) °	NS $p < 0.010$, ↑ 40.7% $p < 0.004$, ↑ 422.2%

	Population	Articles	Comparators	Outcomes (comparison between techniques; comparison pre-test/post-test for NW groups)	P value Percentage
Kinetics	Healthy population	Hagen et al. 2011 (44)	NW vs. CW (4 speeds) vs. R (2 speeds)	Maximum pronation (1.4 m/s): NW, 11.3° vs. CW, 10.4° Maximum pronation (1.9 m/s): NW, 11.4° vs. CW, 9.6° Maximum pronation (2.2 m/s): NW, 10.8° vs. running, 9.9° vs. CW, 9.3° Maximum pronation (2.4 m/s): NW, 10.7° vs. running, 9.6° vs. CW, 9.5°	$p < 0.050$, ↑ 8.7% $p < 0.050$, ↑ 18.8% $p < 0.050$, ↑ 12.5% $p < 0.050$, ↑ 12.0%
		Dallton et Nantel 2016 (47)	NW vs. CW (Vicon's data)	Trunk ROM (frontal): NW pre, 46.41 (18.33) mm vs. CW pre, 47.13 (11.86) mm Trunk ROM (sagittal): NW pre, 41.80 (12.65) mm vs. CW pre, 48.35 (15.09) mm Trunk ROM (sagittal): NW post, 51.16 (22.51) mm vs. CW post, 60.54 (23.26) mm	NS $p < 0.050$, ↓ 13.5% $p < 0.050$, ↓ 15.5%
		Park et al. 2014 (14)	NW (pre-test, mid-test, post-test)	Trunk length: NW mid, 425.71 (34.7) mm vs. NW post, 415.11 (24.5) mm Pelvic tilt: NW pre, 8.48 (9.7) mm vs. NW post, 6.88 (8.5) mm Pelvic torsion: NW pre, 0.080 (4.7) ° vs. NW post, -0.06 (3.5) ° Lateral deviation: NW mid, 9.90 (10.33) rns vs. NW post, 6.80 (3.1) rns	$p < 0.010$, ↑ 2.6% $p < 0.010$, ↑ 23.3% $p < 0.010$, ↑ 233.3% $p < 0.010$, ↑ 45.6%
		Bechard et al. 2012 (17)	NW vs. CW	Frontal plane lever arm length (1st peak): NW, 527 (145) mm vs. CW, 497 (135) mm Trunk lean (1st peak): NW, 0.12 (1.70) ° vs. CW, 1.33 (1.65) ° Trunk lean (2nd peak): NW, 0.26 (1.64) ° vs. CW, 0.99 (1.55) °	$p < 0.001$, ↑ 6.0% $p < 0.001$, ↑ 91.0% $p < 0.001$, ↑ 73.7%
		Gougeon et al. 2017 (51)	NW vs. CW	Trunk ROM (frontal plane): NW, 6.63 (1.27) ° vs. CW, 8.00 (1.98) °	$p < 0.050$, ↓ 17.1%
		Fritz et al. 2011 (6)	NW (before and after the program)	Trunk ROM (sagittal and horizontal plane) Maximum hip flexion	NS NS
		Encarnacion et al. 2015 (23)	NW vs. CW (preferred and fast speed)	Vertical force impact at heel strike (preferred): NW, 1.41 (0.17) N/kg vs. CW, 1.11 (0.13) N/kg Vertical force impact at heel strike (fast): NW, 1.55 (0.14) N/kg vs. CW, 1.43 (0.20) N/kg Vertical force at heel strike (preferred): NW, 1.62 (0.13) N/kg vs. CW, 1.45 (0.13) N/kg Vertical force at heel strike (fast): NW, 1.71 (0.11) N/kg vs. CW, 1.62 (0.14) N/kg Vertical force at toes-off (preferred): NW, 1.25 (0.14) N/kg vs. CW, 1.32 (0.12) N/kg Vertical force at toes-off (fast): NW, 1.15 (0.18) N/kg vs. CW, 1.29 (0.14) N/kg Antero-posterior force at heel strike (preferred): NW, 0.42 (0.05) N/kg vs. CW, 0.31 (0.05) N/kg Antero-posterior force at heel strike (fast): NW, 0.48 (0.09) N/kg vs. CW, 0.39 (0.05) N/kg	$p < 0.002$, ↑ 27.0% $p < 0.002$, ↑ 8.4% $p < 0.002$, ↑ 11.7% $p < 0.002$, ↑ 5.6% $p < 0.003$, ↓ 5.3% $p < 0.003$, ↓ 10.9% $p < 0.000$, ↑ 35.5% $p < 0.000$, ↑ 23.1%
		Park et al. 2015 (7)	NW vs. CW	GRF (initial stance phase): NW, 117.85 (12.70) % BW vs. CW, 104.10 (9.26) % BW GRF (mid-stance phase): NW, 66.1 (101.0) % BW vs. CW, 74.27 (7.23) % BW GRF (terminal stance phase): NW, 114.40 (7.06) % BW vs. CW, 110.20 (5.27) % BW	$p < 0.010$, ↑ 12.18% $p < 0.010$, ↓ 10.9% $p < 0.050$, ↑ 3.8%
		Stief et al. 2008 (52)	NW vs. CW vs. running	Maximum antero-posterior peak force during braking: NW, 309 (53.04) N vs. CW, 256 (34.90) N GRF other data: NW vs. CW NW vs. running: GRFs are higher during running except for max anterior-posterior force peak at braking and at landing and max medial GRF	$p = 0.010$, ↑ 20.7% NS $p < 0.050$
		Jensen et al. 2010 (53)	NW with normal pole load vs. NW with increased pole load	GRF peak (2 nd half of the stance phase): NW increased pole load, 1.17 (0.08) BW vs. NW normal pole load 1.20 (0.07) BW Knee compression force (2 nd peak): NW increased pole load, 2.44 (0.39) BW vs. NW normal pole load, 2.27 (0.26) BW GRF (1 st peak)	$p < 0.050$, ↓ 2.5% $p < 0.050$, ↑ 7.5%
		Hagen et al. 2011 (44)	NW vs. CW vs. R (4 different speeds)	Peak vertical force at landing (1.39 m/s): NW, 1.32 BW vs. CW, 1.27 BW Peak vertical force at push-off (1.94 m/s): NW, 1.31 BW vs. CW, 1.35 BW Peak decelerating horizontal force (1.94 m/s): NW, 0.40 BW vs. CW, 0.35 BW <i>GRF during running are higher than during NW and CW</i>	NS $p < 0.050$, ↑ 3.9% $p < 0.050$, ↓ 3.0% $p < 0.050$, ↑ 14.3% $p < 0.010$
Ground reaction force and plantar pressure	Healthy population	Encarnacion et al. 2017 (54)	NW vs. CW	Plantar pressure central metatarsal: NW, 59.90 (39.88) kPa vs. CW, 111.27 (50.10) kPa Plantar pressure hallux: NW, 48.23 (36.23) kPa vs. CW, 136.36 (65.87) kPa Plantar pressure: arch, calcaneus, medial metatarsal, lateral metatarsal, toes	$p = 0.012$, ↓ 46.2% $p = 0.000$, ↓ 64.6% NS
		Hudson 2014 (55)	NW vs. CW	Plantar pressure metatarsal head during the impulse: NW vs. CW Plantar pressure: hallux, heel	$p < 0.010$, ↓ NP NS

Abbreviation: %MVC: percentage of maximum voluntary contraction; 10mWt, 10 meters walking test; 6mWt: 6 minutes walking test; BW, body weight; CW, conventional walking; EMG, electromyography; GRF, ground reaction force; MWD, maximum walking distance; NS, non-significant; NT, non-tested; NW, Nordic walking; PTS, preferred transition speed; ROM, range of motion; SC, sedentary control.

Introduction : la marche nordique (MN) est considérée comme un sport santé et de récentes études ont montré ses bénéfices sur divers domaines généraux, mais peu sur des paramètres biomécaniques. L'objectif est de déterminer l'impact de la MN sur les paramètres suivants : vitesse et distance de marche, activation musculaire, spatio-temporaux, cinématique et force de réaction au sol.

Méthode : une recherche de la littérature a été conduite dans différentes bases de données d'octobre 2008 à octobre 2018. Cette revue a été conduite en accord avec les directives PRISMA. Au total, 42 études avec un score PEDro moyen de 5.5/10 ont été incluses.

Résultats : les études reportent une distance (+14.8%, $p<0.05$) et une vitesse de marche augmentée (+25.5%, $p<0.05$), une longueur de la foulée augmentée (+10.4%, $p<0.05$) mais une cadence diminuée (-6.2%, $p<0.05$). Généralement la MN augmente : l'activation et la force musculaire pour les membres supérieurs, les amplitudes des quatre membres et les forces de réaction au sol.

Discussion : la présence de biais de publication et la diversité des études incluses sont des limites mais aussi l'inclusion d'études croisées avec des index de qualité méthodologique moyens.

Conclusion : la MN a divers effets sur les paramètres biomécaniques, elle semble être un moyen efficace de faire de l'activité physique et peut être utilisée en rééducation ou dans la vie quotidienne.

Mots clefs : équilibre, locomotion, marche, marche avec des bâtons, marche nordique.

Background : Nordic Walking (NW) is considered as a healthy sport and recent studies have demonstrated its benefits in various domains, but little is known about the effect of NW in more specific biomechanical parameters. The purpose is to determine the impact of NW on the following parameters: walking speed/distance, muscle activation, spatiotemporal parameters, kinematics and ground reaction force.

Method : a literature search was carried out in different databases from October 2008 to October 2018. This review was conducted and reported in accordance with the PRISMA statement. Finally, 42 studies with a median PEDro score of 5.5/10 were included.

Results: the included studies reported an increased walking distance (+14.8%, $p<0.05$), walking speed (+25.5%, $p<0.05$), stride length (+10.4%, $p<0.05$) but a decreased cadence (-6.2%, $p<0.05$). NW generally increased: muscle activation and strength for upper limbs; upper and lower limbs range of motion, and ground reaction force.

Discussion : the presence of publication bias and diversity between the studies included were limitations of the review, as well as, the inclusion of crossover studies with medium quality index score.

Conclusion : NW has beneficial effects on many biomechanical parameters and appears to be an effective way of doing physical activity and could be used in physical rehabilitation or in daily life.

Key words: gait, locomotion, Nordic Walking, pole walking, walking.